

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Química

Proyecto de instalación de calefacción con caldera de biomasa

Autor:

Ana Marina Linero Reyes

Tutor:

Pedro García Haro

Investigador Post-Doctoral

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

RESUMEN

En el proyecto que se presenta se va a llevar a cabo un diseño completo de un sistema de calefacción con caldera de biomasa en una vivienda rural de la Sierra Norte de Sevilla.

En primer lugar, se calcularán las necesidades térmicas que tiene la vivienda y se elegirá una caldera de biomasa policombustible que sea capaz de satisfacer esas necesidades. Asimismo, esto conlleva la elección de un biocombustible adecuado y un sistema de almacenamiento para el mismo.

Además, se va a proceder también al diseño de la sala de máquinas donde se encontrará la caldera y todos los equipos auxiliares, así como el diseño de la red de distribución de agua caliente que llevará el agua de calefacción desde la caldera hasta los elementos terminales localizados en la vivienda.

Uno de los principales objetivos de este proyecto es reunir las características necesarias para el visado colegial, con lo que también se adjuntarán los correspondientes Planos, Pliego de Condiciones, Mediciones y Presupuesto y Estudio de Seguridad y Salud.

Por último, también se han desarrollado una serie de anexos que complementan los contenidos de la Memoria, tales como los cálculos, catálogos, los costes de operación de la instalación o el certificado energético.

ÍNDICE

Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Objetivos y alcance	ix
Índice	x
Índice de Tablas	xiv
Índice de Figuras	xvi
1. Antecedentes	18
2. Normas y Referencias	19
2.1. Disposiciones legales y normas aplicadas	19
2.2. Programas de cálculo	20
2.3. Bibliografía	20
2.4. Otras referencias	21
3. Requisitos de Diseño	23
3.1. Requisitos generales	23
3.2. Emplazamiento y entorno	23
3.3. Estudios encaminados a la definición de la solución adoptada	25
3.3.1. Cálculo de la carga térmica	25
3.3.1.1. Datos climáticos	27
3.3.1.2. Datos del edificio	27
3.3.1.3. Cálculo de los coeficientes U de los elementos del edificio	28
3.3.1.4. Cálculo de la pérdida térmica de diseño por transmisión	28
3.3.1.5. Cálculo de la pérdida térmica de diseño por ventilación	29
3.3.1.6. Carga térmica de un espacio calentado	29
3.3.1.7. Resultado del cálculo simplificado de la carga térmica de diseño total del edificio	29
4. Análisis de Soluciones	31
4.1. Selección del combustible	31
4.3.1. Caracterización de biocombustibles	31
4.3.1.1. Pellets de biomasa	31
4.3.1.2. Leña y briquetas	32
4.3.1.3. Astillas	32

4.3.1.4.	Residuos agroindustriales	33
4.3.2.	Elección del biocombustible adecuado	34
4.3.2.1.	Espacio disponible para el almacenamiento	35
4.3.2.2.	Mercado local de biocombustibles	35
4.2.	<i>Almacenamiento de biocombustibles</i>	40
4.2.1.	Tipos de sistemas de almacenamiento de biomasa	41
4.2.1.1.	Almacenamientos prefabricados	41
4.2.1.2.	Almacenamientos de obra	42
4.2.2.	Dimensionamiento del silo	43
4.2.2.1.	Elección del tipo de silo y diseño	44
4.2.2.2.	Elementos auxiliares del silo	46
4.3.	<i>Elección de la caldera</i>	48
4.3.1.	Biocalora	48
4.3.2.	Biosan	51
4.3.3.	Inmecal	52
4.3.4.	Comparación de calderas	53
4.4.	<i>Caldera de biomasa</i>	55
4.4.1.	Ventajas del modelo KP Serie 2 62	56
4.4.2.	Mantenimiento requerido	57
4.4.3.	Características de la caldera	57
4.4.4.	Partes y estructura de la caldera	58
4.4.4.1.	Cuerpo de la caldera	59
4.4.4.2.	Quemador	60
4.4.4.3.	Partes cerámicas	61
4.4.4.4.	Alimentador F1 con accionamiento independiente	62
4.4.4.5.	Revestimiento de la caldera y aislamiento térmico	63
4.4.4.6.	Sistema de limpieza	64
4.4.4.7.	Accesorios	66
4.4.4.8.	Tolva	66
4.5.	<i>Sala de Calderas</i>	68
4.5.1.	Características de la sala de máquinas	68
4.5.2.	Dimensiones de la sala de máquinas	69
4.5.3.	Ventilación de la sala de calderas	70
4.5.3.1.	Ventilación directa por orificios	71
4.5.3.2.	Ventilación natural directa por conducto	71
4.5.3.3.	Ventilación forzada	71
4.5.4.	Grados de protección	72
4.5.5.	Seguridad contra incendio en la sala de máquinas	72
4.5.6.	Protección frente el ruido	73
4.5.7.	Emisiones	74
4.5.8.	Diseño de la sala de calderas	74
4.5.8.1.	Distancia de seguridad desde el material combustible	76
4.5.8.2.	Depósito de combustible	76
4.5.8.3.	Ventilación de la sala de calderas	76
4.5.8.4.	Resultado del diseño	76

4.5.9.	Obra civil de la sala de calderas y del silo de almacenamiento	77
4.5.9.1.	Movimiento de tierras	77
4.5.9.2.	Cimentaciones	78
4.5.9.3.	Saneamiento	78
4.5.9.4.	Estructuras	78
4.5.9.5.	Cerramientos	78
4.5.9.6.	Revestimientos	78
4.5.9.7.	Cerrajería y carpintería	79
4.5.10.	Instalación eléctrica en la sala de calderas	79
4.5.10.1.	Clasificación del local	79
4.5.10.2.	Potencia requerida	79
4.5.10.3.	Instalaciones necesarias	80
4.5.10.4.	Sistemas de protección	80
4.5.11.	Chimenea y tratamiento de humos	81
4.5.11.1.	Diseño de la chimenea	82
4.5.11.2.	Remate de la chimenea	87
4.5.11.3.	Medición, inspección y limpieza	88
4.5.11.4.	Suportación de la chimenea	89
4.5.11.5.	Placa de la chimenea	89
4.6.	<i>Red de Distribución de Agua de Calefacción</i>	90
4.6.1.	Tipos de redes de distribución	90
4.6.1.1.	Sistema bitubo	90
4.6.1.2.	Sistema monotubo	91
4.6.2.	Situación relativa de los elementos del sistema de distribución	92
4.6.3.	Elementos generales de una red de distribución de fluidos	92
4.6.3.1.	Materiales	93
4.6.3.2.	Compensadores de dilatación	93
4.6.3.3.	Aislamiento térmico	95
4.6.3.4.	Válvulas	96
4.6.3.5.	Bombas	97
4.6.4.	Emisores de calor	97
4.6.4.1.	Radiadores	98
4.6.4.2.	Tubo aleteado	98
4.6.4.3.	Convectores	99
4.6.4.4.	Ventiloconvectores	99
4.6.5.	Vaso de expansión	99
4.6.6.	Diseño de la red de distribución de agua caliente	100
4.6.6.1.	Determinación de la potencia de los radiadores	100
4.6.6.2.	Localización de radiadores	101
4.6.6.3.	Diseño del trazado de la red de tuberías	101
4.6.6.4.	Dimensionado de las tuberías	102
4.6.6.5.	Elección de las bombas	106
4.6.6.6.	Vaso de expansión	108
4.6.6.7.	Equilibrado del sistema hidráulico	109
5.	Resultados Finales	111
	Anexo A: Cálculos	112

1. <i>Cálculo de la carga térmica</i>	112
2. <i>Diseño del sistema hidráulico</i>	117
1.1. Determinación de la potencia y elección de radiadores	117
1.2. Dimensionado de las tuberías	118
1.2.1. Planta baja	118
1.2.2. Planta alta	123
1.2.3. Dilataciones	125
1.3. Pérdidas de carga en el sistema	126
1.4. Selección de la bomba de impulsión	132
Anexo B: Costes de Operación	136
Anexo C: Certificado energético de la vivienda	137
Anexo D: Catálogos	vease CD adjunto

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos generales del edificio requeridos para el cálculo	27
Tabla 2. Transmitancia térmica de los elementos de la vivienda	28
Tabla 3. Carga térmica de diseño del edificio	30
Tabla 4. Características de las cáscaras de almendra	34
Tabla 5. Puntos de distribución de biomasa considerados	36
Tabla 6. Propiedades de los combustibles biomásicos	37
Tabla 7. Comparación de alternativas en cuanto a distribución de biocombustibles	38
Tabla 8. Propiedades de los huesos de aceituna tratados distribuidos por Olihueso	39
Tabla 9. Sistemas de almacenamiento de biomasa	41
Tabla 10. Modelos de calderas del fabricante Biocalora	49
Tabla 11. Dimensiones caldera Biocalora	50
Tabla 12. Datos técnicos de caldera Biocalora Serie 2 KP 62	50
Tabla 13. Dimensiones de la caldera Biosan Serie PLC 75 kW	51
Tabla 14. Datos técnicos de caldera Biosan Serie PLC 75 kW	51
Tabla 15. Dimensiones de la caldera Inmecal modelo Dinamic 50	52
Tabla 16. Datos técnicos de la caldera Inmecal modelo Dinamic 50	53
Tabla 17. Precios de los biocombustibles según Olihueso S.L.	53
Tabla 18. Inversión inicial simplificada de cada caldera	54
Tabla 19. Datos técnicos de caldera Biocalora Serie 2 KP 62	56
Tabla 20. Elementos que forman la caldera	59
Tabla 21. Partes que forman el cuerpo de la caldera	60
Tabla 22. Partes del quemador	61
Tabla 23. Partes del transportador sinfín F1	63
Tabla 24. Partes que forman el revestimiento de la caldera	63
Tabla 25. Elementos del contenedor extraíble de cenizas	66
Tabla 26. Condiciones de las zonas de riesgo especial	72

Tabla 27. Límites de emisión en función de la potencia de la caldera	74
Tabla 28. Elementos de la sala de calderas	75
Tabla 29. Potencia de cálculo del sistema eléctrico	79
Tabla 30. Pérdida térmica en cada una de las estancias	100
Tabla 31. Distancia entre soportes en las tuberías de cobre	103
Tabla 32. Espesor mínimo de aislamiento de las tuberías del circuito	105
Tabla 33. Pérdidas de carga en el sistema	106
Tabla 34. Datos para la selección de la bomba de impulsión	107
Tabla 35. Características de funcionamiento de la bomba elegida	107
Tabla 36. Cálculo del volumen del vaso de expansión	108
Tabla 37. Características del vaso de expansión elegido	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la vivienda en Castilblanco de los Arroyos	24
Figura 2. Casa de la Sierra	24
Figura 3. Vista aérea del edificio	25
Figura 4. Procedimiento a seguir para el cálculo de la carga térmica de diseño de un edificio	26
Figura 5. Precios de los pellets de madera desde finales de 2014 hasta el último trimestre de 2015	32
Figura 6. Precios de los pellets de madera desde finales de 2014 hasta noviembre de 2015	33
Figura 7. Balance de masa de la industria del aceite	33
Figura 8. Precios de los pellets de madera desde finales de 2014 hasta noviembre de 2015	34
Figura 9. Entorno y vivienda de la instalación de la caldera y la sala de máquinas	35
Figura 10. Esquema del silo con dos lados inclinados	45
Figura 11. Esquema de un silo con un lado inclinado	45
Figura 12. Silo de almacenamiento para el combustible	46
Figura 13. Descarga neumática del combustible	46
Figura 14. Racord y extensión para la boca de carga del silo	47
Figura 15. Lona de protección para el impacto del material	47
Figura 16. Perfil en Z para la puerta	47
Figura 17. Transportador de tornillo sinfín para llevar el combustible del almacén a la caldera	48
Figura 18. Esquema caldera Biocalora Serie 2 KP 62	50
Figura 19. Esquema de la caldera Biosan Serie PLC 75 kW	51
Figura 20. Esquema de la caldera Inmecal modelo Dinamic 50	52
Figura 21. Comparación de calderas para distintos combustibles	54
Figura 22. Caldera Biocalora KP Serie 2 62	55
Figura 23. Esquema caldera Biocalora Serie 2 KP 62	55
Figura 24. Estructura de la caldera (parte delantera)	58
Figura 25. Estructura de la caldera (parte trasera)	58
Figura 26. Estructura trasera del cuerpo de la caldera	59
Figura 27. Estructura frontal del cuerpo de la caldera	59

Figura 28. Quemador	60
Figura 29. Deflector cerámico de dos partes	61
Figura 30. Parrilla cerámica secundaria	61
Figura 31. Placa cerámica	62
Figura 32. Revestimiento cerámico de la puerta	62
Figura 33. Transportador de combustible tornillo sinfín F1	62
Figura 34. Revestimiento KP 2 62	63
Figura 35. Sistema de eliminación de cenizas	64
Figura 36. Sistema de limpieza del intercambiador de calor	65
Figura 37. Contenedor extraíble para depositar las cenizas	65
Figura 38. Depósito estándar de combustible de 700 L	67
Figura 39. Manual de montaje del depósito de combustible	67
Figura 40. Espacios libres mínimos en la sala de calderas	70
Figura 41. Colocación de los equipos en la sala de calderas	75
Figura 42. Puesta a tierra mediante picas y conductores	81
Figura 43. Resultados del cálculo del diámetro de la chimenea	84
Figura 44. Tiro de la chimenea	86
Figura 45. Regulador de tiro de la chimenea	86
Figura 46. Remate de la chimenea en tejado plano	87
Figura 47. Remate de la chimenea en tejado inclinado	87
Figura 48. Distancias del remate de la chimenea respecto a obstáculos	88
Figura 49. Distancias del remate de la chimenea respecto a obstáculos exteriores	88
Figura 50. Ejemplo de placa de la chimenea	90
Figura 51. Sistema de distribución de agua de calefacción bitubo	91
Figura 52. Sistema convencional e invertido de distribución bitubo	91
Figura 53. Sistema mixto monotubo-bitubo	92
Figura 54. Elementos de compensación natural	94
Figura 55. Compensador de codo doble en U	94
Figura 56. Compensador en forma de lira	94
Figura 57. Compensador axial	95
Figura 58. Tipos de válvulas para una red de distribución de agua caliente	97
Figura 59. Soporte para fijación de tuberías aisladas a la pared	104
Figura 60. Bomba Calio S empleada para la impulsión de agua en la red de distribución	107
Figura 61. Vaso de expansión Vasoflex	109

1. ANTECEDENTES

A partir de la persecución de las personas hacia un estado de bienestar, surge la necesidad de crear ambientes agradables en las viviendas, por ello aparecen los sistemas de calefacción mediante una caldera centralizada. Posteriormente, se empieza a extender el uso de la biomasa en este ámbito, empleando desechos agroindustriales que anteriormente eran tirados sin darles un segundo uso. En la actualidad, la biomasa está cada vez más extendida, por ello se están llevando a cabo sustituciones de las calderas de gas por las de biomasa, y los sistemas de nueva creación emplean ya biocombustibles.

La biomasa se define como materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizado como fuente de energía. Constituye un ciclo cerrado energético y, por tanto, renovable. Aunque la materia prima que se usa para crear biomasa sean desechos, es necesario someterlos a una serie de tratamientos antes de utilizarlos para reducir su humedad, y así disminuir la cantidad de cenizas que se producen en su combustión. Debido a todas las ventajas que presentan los biocombustibles, es preferible una instalación que emplee biomasa, a una que use gas.

Un sistema de calefacción centralizado lleva numerosos elementos que deben diseñarse cuidadosamente para que su funcionamiento sea lo más eficiente posible. En primer lugar, se debe contar con una caldera, siendo ésta el corazón de toda la instalación, y con radiadores que proporcionen calor a la vivienda. Para unir dichos elementos se requiere una red de tuberías diseñada adecuadamente, así como todos los equipos auxiliares que esto conlleva. Además, la caldera incorporará un sistema de control que hará su funcionamiento lo más eficiente posible, así como selectores en la vivienda que permitirán al usuario elegir la temperatura de la estancia. Al emplearse como combustible biomasa, se debe disponer también de un sistema de almacenamiento para el combustible, siendo ésta una de las pocas desventajas que tiene la biomasa frente al uso del gas como combustible.

La realización de este proyecto parte de la búsqueda de un edificio que cumpla ciertos criterios para realizar una instalación de calefacción con biomasa. El edificio buscado es una vivienda rural en la que haya espacio suficiente para construir una sala de calderas y para almacenar el combustible. Éste se describe posteriormente en el apartado de requisitos de diseño, donde se detalla el emplazamiento de la vivienda.

La elección de la vivienda se hará en la Sierra Norte de Sevilla, debido a que en la zona abundan las casas rurales, es una zona cercana y conocida, y las temperaturas son inferiores a las de cualquier otro punto de la provincia, con lo que el sistema de calefacción será más útil que en otro lugar más cálido.

2. NORMAS Y REFERENCIAS

2.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

- [1] Norma UNE-EN 12831 *Sistemas de calefacción en edificios. Método para el cálculo de la carga térmica del edificio*. 2003
- [2] Norma UNE-EN ISO 15927-5 *Comportamiento higrotérmico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 5: Datos para el diseño de la carga térmica de calefacción*. Comité técnico AEN/CTN 92 Aislamiento Térmico.
- [3] Norma UNE-EN ISO 6946 *Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo* (Abril 2012, corrección julio 2015). Comité técnico AEN/CTN 92 Aislamiento Térmico.
- [4] Norma UNE-EN ISO 10456. *Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño*. (Mayo 2012). Comité técnico AEN/CTN 92 Aislamiento Térmico.
- [5] España. *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, versión consolidada*. Madrid, septiembre de 2013.
- [6] Norma UNE 100020. *Climatización. Sala de máquinas*. Comité técnico AEN/CTN 100 Climatización.
- [7] Norma UNE-EN 13501-1:2007+A1. *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego*. Comité técnico AEN/CTN 23 Seguridad contra incendios.
- [8] España. Real Decreto 312/2005, de 18 de marzo, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y resistencia frente al fuego. Boletín Oficial del Estado, 2 de abril de 2005, nº 79, páginas 11318 – 11348.
- [9] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico para la Seguridad en Caso de Incendio.
- [10] Norma UNE-EN 123001:2012. *Cálculo, diseño e instalación de chimeneas modulares*. Comité Técnico AEN/CTN 123 – Chimeneas.
- [11] Norma UNE-EN 1856-1:2010. *Chimeneas. Requisitos para chimeneas metálicas. Parte 1: Chimeneas modulares*. Comité Técnico AEN/CTN 123 – Chimeneas.
- [12] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de protección frente al ruido. Septiembre de 2009.
- [13] Norma UNE-EN 303-5. *Calderas de calefacción. Parte 5: calderas especiales para combustibles sólidos, de carga manual y automática y potencia útil nominal hasta 500 kW. Terminología, requisitos, ensayos y marcado*. Comité técnico AEN/CTN 124 – Generadores y emisores de calor. Mayo de 2013.
- [14] Norma UNE-EN 442-2:1996. *Radiadores y convectores. Parte 2: Métodos de ensayo y evaluación*. Comité técnico AEN/CTN 124 Generadores y emisores de calor. Noviembre de 2015.
- [15] Norma UNE 100152 IN. *Climatización. Soportes de tuberías*. Comité técnico AEN/CTN 100 Climatización. Noviembre de 2004.
- [16] Norma UNE-EN ISO 12241. *Aislamiento térmico para equipos de edificación e instalaciones industriales. Método de cálculo*. Comité técnico AEN/CTN 92 Aislamiento térmico. Octubre de 2010.
- [17] Norma UNE 100155. *Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión*. Comité técnico AEN/CTN 100 Climatización. Noviembre de 2004.
- [18] España. Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de protección contra incendios. Boletín Oficial del Estado, 14 de diciembre de 1993, nº 298, páginas 35159 – 35168.

- [19] España. Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. Boletín Oficial del Estado, 18 de septiembre de 2002, nº 224, páginas 33084 a 33086.

2.2. Programas de cálculo

- [20] Dinak Chimeneas. Software Dinakalc 4.2.1. Disponible en http://www.dinakchimeneas.com/area-de-clientes/otros-documentos/cat_view/64-software.html
- [21] CYPE Ingenieros. Generador de precios de la construcción. Disponible en <http://generadorprecios.cype.es/>

2.3. Bibliografía

- [22] Dpto. de Biomasa y Residuos, Escan. S.A. (2009). *Guía técnica de instalaciones de biomasa térmica en edificios*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid.
- [23] Agencia Andaluza de la Energía, Conserjería de Empleo, Empresa y Comercio. *La biomasa en Andalucía*. Sevilla: Octubre de 2015.
- [24] Agencia Extremeña de la Energía (2007). *Trabajar con biomasa: Instalación y servicios comercializables al ciudadano de a pie y a la empresa*.
- [25] Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, Escan S.A. *Guía Práctica de Sistemas Automáticos de Calefacción con Biomasa en Edificios y Viviendas*. Móstoles: Gráficas Arias Montano, S.A., 2006.
- [26] Jesús Fernández, Catedrático de Producción Vegetal en la ETS Ingenieros Agrónomos de la UPM. *Los Residuos Agroindustriales como Biocombustibles Sólidos (I)*. Vida Rural, 2006, 233, 22-24.
- [27] Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. Índice de precios de la Astilla de uso Doméstico en España 4T2014 – 4T2015. Noviembre de 2015.
- [28] Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. Índice de precios del Hueso de Aceituna Doméstico en España 4T2014 – 4T2015. Noviembre de 2015.
- [29] Alemán, Aurelio. Redes de distribución de agua de calefacción. En Aurelio Alemán, José de Benito, Juan Manuel de Espinosa y Pedro Pozo. Cuadernos *El Instalador: Calefacción*. Madrid: el Instalador S.A. 1999, p 45 – 56.
- [30] Pozo, Pedro. Unidades terminales de agua. En Aurelio Alemán, José de Benito, Juan Manuel de Espinosa y Pedro Pozo. Cuadernos *El Instalador: Calefacción*. Madrid: el Instalador S.A. 1999, p 57 – 68.
- [31] J.A. de Andrés y Rodríguez-Pomatta, Santiago Aroca Lastra, Manuel García Gandara. *Calefacción y Agua Caliente Sanitaria*. Madrid: A. Madrid Vicente Ediciones, 1991.
- [32] Martín Reina, Guillermo. *Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización*. Coronel Toro, Juan Francisco (tutor). Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Energética, junio de 2012.
- [33] Centro Español de Información del Cobre (CEDIC). *Manual de tubo y accesorios de cobre*. Madrid, 2010.
- [34] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Guía técnica de selección de equipos de transporte de fluidos*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, junio de 2012.
- [35] Productos Nacobre S.A. de C.V. Manual Técnico Nacobre.
- [36] García Reche, Pedro. *Proyecto de planta de elaboración de baguettes semihorneadas congeladas en el polígono industrial “Las Quemadas” (Córdoba)*. Universidad de Córdoba, abril de 2000.

- [37] Pereda González, Álvaro. *Proyecto de instalación térmica centralizada con biomasa para dar servicios de calefacción y A.C.S. a polideportivo, colegio, residencia de ancianos y edificio municipal en Santelices (Burgos)*. Juárez Castelló, Manuel Celso (tutor). Universidad de La Rioja. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, junio de 2014.
- [38] Apuntes de Proyectos de la Escuela de Ingenieros Agrónomos de la Universidad de Castilla-La Mancha. Tema 9. Pliego de Condiciones.
- [39] Sánchez de la Arena, Miguel Ángel. *Figuras jurídicas que intervienen en una obra de construcción*. Jornada de presentación de la Guía Técnica de la Construcción del INSHT.

2.4. Otras referencias

- [40] Datos históricos de la estación meteorológica de Guillena. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Red de Información Agroclimática de Andalucía. Recuperado el 21 de diciembre de 2015, de https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController?action=Static&url=coordenadas.jsp&c_provincia=41&c_estacion=17
- [41] Agencia Andaluza de la Energía, Conserjería de Empleo, Empresa y Comercio. *Mapa Andaluz de Suministro de Biocombustibles y otros combustibles limpios*. Recuperado el 11 de Diciembre de 2015, de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/biogasolineras/biogasolinera/init.do?prefix=/biogasolinera&name=map>
- [42] Biocalora. Productos. Calderas de pellet y biomasa ibéricas. Recuperado el 14 de Diciembre de 2015, de www.biocalora.com/productos/calderas-pellet-biomasa-iberica.php
- [43] Grupo Biosan. Productos. Calderas de biomasa Policombustible Gama Industrial (40 kW – 115 kW). Recuperado el 15 de diciembre de 2015, de <http://grupobiosan.com/calderas-de-biomasa/calderas-de-biomasa-policombustible/calderas-de-biomasa-policombustible-gama-industrial/calderas-de-biomasa-policombustible-plc75.html>
- [44] Inmecal. Productos, Línea Doméstica, Dinamic 50 kW. Recuperado el 15 de diciembre de 2015, de www.inmecal.com/es/dinamic-50-kw
- [45] Olihueso. Productos. Recuperado el 15 de diciembre de 2015, de <http://www.olihueso.es/es/15-productos>
- [46] Pablo Rodero y Javier D. Manteca. Precios de Pellets domésticos en España. Bioenergy International, 2004,23. Recuperado el 22 de diciembre de 2015, de <http://www.bioenergyinternational.es/noticias/News/show/precios-del-pellet-domestico-en-espana-653>
- [47] Grupo Nova Energía. Solicitud de presupuesto de Biocalora KP Serie 2 Modelo 62 de 61 kW.
- [48] Grupo Nova Energía. *Manual de montaje Biocalora Serie 2*. Workbook 1: Design - Installation - Service – Maintenance.
- [49] Calor Biogreen. Biomasa. Recuperado el 2 de marzo de 2016, de <http://www.calorbiogreen.com/biomasa/>
- [50] Supersilo. Productos. Productos y accesorios. Recuperado el 9 de marzo de 2016, de <http://www.supersilo.es/es/productos.html>
- [51] Dinak Chimeneas. Catálogo del modelo DWhp. Recuperado el 21 de marzo de 2016, de http://www.dinakchimeneas.com/area-de-clientes/otros-documentos/cat_view/55-catalogos.html?start=25
- [52] Wieland plumbing. Catálogo de productos Tubo de cobre sanitario. Recuperado el 11 de junio de 2016, de <http://www.wieland->

haustechnik.de/commonmedia/content/media/en/prospekte_2/gbrohre/prospekte_1/da_r_kupferrohre_spanisch_10.pdf

- [53] KSB. Catálogo de productos. Recuperado el 11 de junio de 2016, de https://shop.ksb.com/esales/ksb/b2b/startApp.do?nav_areaid=ZES_WATER&navPosActive=2
- [54] Fernox. Ficha sobre cómo calcular el volumen de un sistema de agua. Recuperado el 11 de junio de 2016, de <http://www.fernox.es/resoluci%C3%B3n+de+problemas/fichas+sobre+c%C3%B3mo+c%C3%B3mo+calcular+el+volumen+de+un+sistema+de+agua>
- [55] Productos Baxi. Catálogos de emisores. Recuperado el 11 de junio de 2016, de <http://www.baxi.es/paneles/>
- [56] Salvador Escoda. Tarifas de calefacción/agua. Recuperado el 11 de junio de 2016, de <http://www.salvadorescoda.com/tarifas/index.htm>
- [57] Productos Baxi. Catálogo de Vasos de Expansión (Vasoflex). Recuperado el 11 de junio de 2016, de <http://www.baxi.es/366/>

3. REQUISITOS DE DISEÑO

3.1. Requisitos generales

Este proyecto parte con la búsqueda de una vivienda a la que se le puedan hacer las modificaciones pertinentes para poder instalarle un sistema de calefacción centralizado. Los requisitos que debe tener el edificio son los siguientes:

- Ser una vivienda rural previamente construida.
- Estar situada en la Sierra Norte de Sevilla.
- Disponer de espacio suficiente para la instalación de caldera y almacenamiento de combustible.
- Ser accesible por camiones y otros vehículos de gran tamaño.

Por otro lado, el sistema de calefacción que se quiere diseñar también tiene que tener unas condiciones determinadas:

- Deber emplearse una caldera que caliente el agua y un sistema de distribución que la lleve hasta las unidades terminales.
- La caldera debe emplear biomasa y además ser policombustible, para asegurar el funcionamiento de la calefacción en caso de que surja la necesidad de cambiar el tipo de biomasa por otra.
- La caldera debe cubrir todas las necesidades térmicas de la vivienda.
- El sistema de distribución de agua debe instalarse de forma que altere lo menos posible la estructura del edificio.
- El almacén de biocombustible se elegirá y diseñará de acuerdo con el espacio disponible y la cantidad de biocombustible que haya que almacenar.
- El biocombustible a emplear en la caldera se seleccionará en función del mercado local y debe asegurarse su suministro cada vez que sea necesario.

Además de todos los requisitos que se han mencionado, cuando se abarque cada tema por separado se establecerán unos requisitos más específicos que deben cumplir cada parte de la instalación.

3.2. Emplazamiento y entorno

El edificio elegido es la Casa de la Sierra, que se encuentra en el sur de la localidad de Castilblanco de los Arroyos, en la Sierra Norte de la provincia de Sevilla, y actualmente es un museo etnológico y un centro ocupacional para minusválidos.



Figura 1. Localización de la vivienda en Castilblanco de los Arroyos

El edificio consta de dos plantas, y a su derecha hay una zona libre en la que hay espacio suficiente para la construcción de la sala de calderas y el almacén. Asimismo, tal y como se muestra en las Figuras 2 y 3, hay una rampa lateral que permite la entrada de camiones para descargar el combustible y los equipos.



Figura 2. Casa de la Sierra



Figura 3. Vista aérea del edificio

En el Anexo de Planos aparecerá la estructura inicial del edificio, dividido en dos plantas, con todas las medidas y características que se pueden indicar.

Para el diseño de la instalación de calefacción en principio se requería una vivienda, con lo que se va a proponer un cambio de estructura del mismo. Así, el edificio se va a convertir en una vivienda con cuatro habitaciones, comedor, salón, sala de estar, dos baños, cocina, lavadero y terraza. El plano de la nueva estructura también se adjunta en el Anexo correspondiente.

3.3. Estudios encaminados a la definición de la solución adoptada

Antes de empezar a diseñar todo el sistema de calefacción, se debe determinar la magnitud del mismo, por ello habrá que llevar a cabo un estudio previo para calcular la carga térmica que requiere el edificio, y a partir del valor de ésta se buscarán los equipos necesarios.

3.3.1. Cálculo de la carga térmica

El primer requisito a tener en cuenta para el diseño de un sistema de calefacción será la carga térmica que requiere el edificio. Para poder calcular dicha carga existe una norma en la que se explican detalladamente paso a paso todos los cálculos y mediciones que se han de realizar. Esta norma especifica un método para el cálculo de las necesidades de suministro de calor [1].

Para llevar a cabo todos los cálculos se hacen una serie de simplificaciones:

- Se asume que la distribución de temperatura es uniforme.
- Las pérdidas térmicas se calculan en condiciones estables, asumiendo propiedades constantes.

El procedimiento de cálculo de la carga térmica de diseño está formado por una serie de parámetros que deben ser calculados a través de sus expresiones y con ayuda de parámetros que vienen tabulados. En primer lugar, para poder calcular la carga térmica de diseño se requieren los datos climáticos de la zona en la que se encuentra el edificio, en este caso se emplean los datos de la estación meteorológica de Guillena, por estar situada a tan solo 15 km del lugar de la instalación y tener una altitud parecida. Una vez conocidas las

temperaturas media exterior y la de diseño, se pueden establecer las áreas del edificio que serán calentadas y las que no. También es importante conocer bien las características del edificio para determinar las pérdidas que habrá a través de los elementos que lo componen (paredes, ventanas, puertas, etc.). Asimismo, se deberán calcular las pérdidas causadas por la ventilación y la capacidad de calentamiento. Una vez que se conocen todos estos datos, se podrá calcular la carga térmica de diseño total. Todo este procedimiento se puede ver de forma esquemática en la Figura 4.

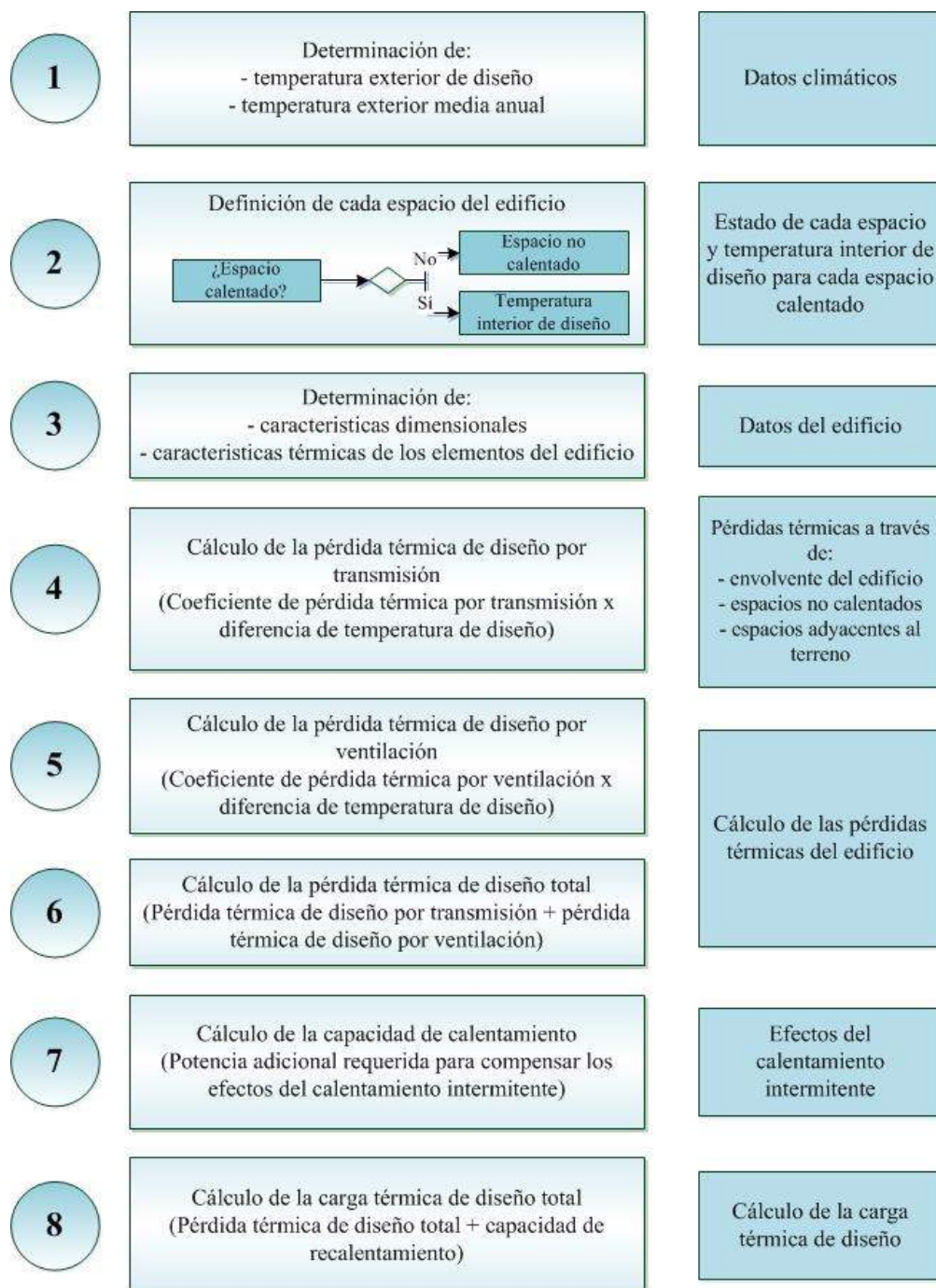


Figura 4. Procedimiento a seguir para el cálculo de la carga térmica de diseño de un edificio [1]

3.3.1.1. Datos climáticos

Se van a emplear los datos de la estación meteorológica de la localidad de Guillena, por ser la más cercana a la vivienda, situada a unos 15 km de la localidad de Castilblanco de los Arroyos, donde se encuentra el edificio en el que se llevará a cabo la instalación [40].

- Altitud: 191 m.
- Latitud geográfica (norte): 37° 30' 52" N.
- Longitud geográfica: 06° 03' 51" W.
- Temperatura exterior de diseño. Según la norma empleada, se debe usar la temperatura media de los dos días de más baja temperatura que se haya registrado diez veces en un período de 20 años: -4,1 °C [2].
- Temperatura exterior media anual: 18,67 °C.

3.3.1.2. Datos del edificio

Para el cálculo de la carga térmica que requiere el edificio se va a emplear el método simplificado [1]. Dicho método emplea como base de cálculo las dimensiones externas, es decir, la base para las dimensiones verticales es la distancia desde la superficie del suelo hasta la siguiente superficie. Cuando se consideran los muros internos, la base para las dimensiones horizontales es la distancia hasta el centro del muro. El método simplificado se puede utilizar siempre que se trate de un edificio residencial en los que el índice de renovación del aire sea menor a 3 h⁻¹. En este caso, dicho índice es 0,5 h⁻¹ para toda la vivienda, excepto para los baños y la cocina que es de 1,5 h⁻¹.

Por tanto, para la obtención de la carga térmica se va a considerar por un lado la planta baja, por otro la planta alta, y por último los baños. Los baños se calculan aparte porque la temperatura interna de diseño es distinta a la del resto de la vivienda. A continuación, aparecen en la Tabla 1 los datos generales requeridos para el cálculo.

Tabla 1. Datos generales del edificio requeridos para el cálculo [1]

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Temperatura exterior de diseño	θ_e	°C	-4,1
Temperatura exterior media anual	$\theta_{m,e}$	°C	18,67
Datos de los recintos calentados			
Nombre del recinto	Temperatura interior de diseño, $\theta_{int,i}$ (°C)	Superficie del recinto, A_i (m ²)	Volumen interior, V_i (m ³)
Planta Baja	20	192,14	552,55
Planta Alta	20	60,71	145,53
Baño	24	17,12	35,13
Total		269,97	733,21
Datos de los recintos no calentados			
Nombre del recinto		Valor b b_u (p.u.)	Temperatura θ_u (°C)
Balcón superior		1	18,67
Entrada		1	18,67

3.3.1.3. Cálculo de los coeficientes U de los elementos del edificio

Para poder completar todo el procedimiento de cálculo se requiere conocer los valores de la transmitancia térmica de cada elemento del edificio (U_k). Para ello hay que conocer las propiedades de cada uno de ellos. Dichas propiedades vienen definidas en una serie de normas, de las cuales se pueden extraer sus valores, ya que vienen tabuladas. Se tienen que conocer los siguientes parámetros [1]:

- Resistencias de la superficies interior y exterior, R_{si} y R_{se} ($m^2 \cdot K/W$) respectivamente, las cuales vienen dadas en la Norma UNE-EN ISO 6946.
- Conductividad térmica (materiales homogéneos), λ ($W/m \cdot K$). Son valores que dependen del material con el que se trabaje y se encuentran tabuladas en la norma UNE-EN ISO 10456, excepto para ventanas que se requiere la norma UNE-EN 12524.
- Espesor del elemento, d (m).

Los valores de las resistencias externa e interna y la conductividad térmica aparecen en la Tabla A.1 del Anexo A para cada material que se ha empleado en el edificio. En la Tabla 2 aparece el valor de U_k para cada elemento que compone el edificio.

Tabla 2. Transmitancia térmica de los elementos de la vivienda [1]

Elemento	Descripción	U_k ($W/m^2 \cdot K$)
1	Muro exterior	1,486
2	Separación interior	2,397
3	Separación interior	1,845
4	Puerta interior	1,376
5	Puerta exterior	0,544
6	Ventana	2,100
7	Techo planta baja	2,102
8	Techo planta alta	2,941
9	Suelo planta baja	1,563

3.3.1.4. Cálculo de la pérdida térmica de diseño por transmisión

Las pérdidas térmicas por transmisión son aquellas que se producen a través de la envolvente del edificio, los espacios no calentados, espacios adyacentes y por el terreno [1].

Para calcularlas se emplea la siguiente expresión:

$$\Phi_{T,i} = \sum_k f_k \cdot A_k \cdot U_k \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (2)$$

donde:

- $\Phi_{T,i}$ es la pérdida térmica de diseño por transmisión expresadas en W.
- f_k el factor de corrección de la temperatura para un elemento del edificio k.
- A_k es el área del elemento del edificio k en m^2 .
- U_k es la transmitancia térmica del elemento del edificio k, expresada en $W/m^2 \cdot K$.
- $\theta_{int,i}$ es la temperatura interior de diseño en $^{\circ}C$.
- θ_e es la temperatura exterior de diseño en $^{\circ}C$.

Los valores de f_k se obtienen de una tabla en la que se recogen dichos valores por defecto para cada elemento [1].

3.3.1.5. Cálculo de la pérdida térmica de diseño por ventilación

Las pérdidas térmicas por ventilación se calculan siguiendo la siguiente expresión [1]:

$$\Phi_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_{\min,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad (3)$$

Donde

- $\dot{V}_{\min,i}$ es el caudal mínimo de aire del espacio calentado i en m³/h.

Su determinación se realiza de la siguiente forma:

$$\dot{V}_{\min,i} = n_{\min} \cdot V_i$$

Siendo:

- n_{\min} el índice de renovación mínima del aire exterior por hora (h⁻¹).
- V_i es el volumen del espacio calentado i, en metros cúbicos (m³), calculado en base a las dimensiones interiores.

Los valores de n_{\min} se toman de una tabla recogida en la misma norma. En el caso de una vivienda es de 0,5 h⁻¹ y de un baño o una cocina es 1,5 h⁻¹ [1].

3.3.1.6. Carga térmica de un espacio calentado

La carga térmica total viene dada por la suma de las pérdidas térmicas de diseño por transmisión y por ventilación y de la capacidad de calentamiento del espacio calentado, y se calcula como [1]:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i} \quad (4)$$

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (5)$$

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad (6)$$

Siendo:

- $\Phi_{HL,i}$ la carga térmica total requerida para el diseño del espacio i, en W.
- Φ_i las pérdidas térmicas totales de diseño del espacio i expresadas en W.
- $\Phi_{RH,i}$ la capacidad de calentamiento en W del espacio i.
- A_i el área del suelo del espacio calentado i, expresada en m².
- f_{RH} es el factor de recalentamiento, el cual depende del tipo de edificio, del tipo de construcción, del tiempo de recalentamiento y de la caída de temperatura asumida durante la desconexión de la calefacción. Su valor se ha obtenido a partir de una tabla en la que aparecen sus valores para distintas caídas de temperatura durante la desconexión con respecto al tiempo de reconexión empleado [1].

3.3.1.7. Resultado del cálculo simplificado de la carga térmica de diseño total del edificio

Una vez realizado todo el procedimiento anteriormente descrito, se han obtenido los valores de la carga térmica total de diseño para cada una de las estancias de la vivienda. Dichos resultados se desarrollan en el Anexo A de cálculos, pero a continuación aparece un resumen de los mismos:

Tabla 3. Carga térmica de diseño del edificio

	Pérdidas por transmisión (W)	Pérdidas por ventilación (W)	Capacidad de calentamiento (W)	Carga térmica de diseño total (W)
Planta Baja	30.933,40	2.785,26	2.157,09	35.875,76
Planta Alta	12.248,61	596,36	600,60	13.445,57
Baños	4.161,98	503,45	140,66	4.806,09
TOTAL	47.343,99	3.885,07	2.898,35	54.127,42

Una vez calculadas las cargas térmicas de cada espacio, se tiene que la potencia total que debe tener la caldera es de **54.127,42 W**.

4. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

Una vez establecidas las condiciones de partida, se puede empezar a hacer un análisis de cada uno de los elementos que compondrán la instalación de calefacción. Por ello, a continuación, se van a disponer las distintas alternativas estudiadas, los caminos hasta las soluciones y la solución finalmente elegida en cada caso.

En primer lugar, se elegirá un combustible adecuado y se diseñará el sistema de almacenamiento. Una vez hecho esto se va a buscar una caldera adecuada a la demanda energética, así como un lugar adecuado para situarla. Una vez que se conozca su localización, se puede diseñar la red hidráulica que la conecta con los radiadores que se instalarán en la vivienda.

4.1. Selección del combustible

Una vez que se conoce la carga térmica que se requiere en la casa rural, se puede proceder a seleccionar el tipo de combustible a emplear y la caldera. Para ello habrá que hacer un estudio detallado de todas las posibilidades que se van a tener en cuenta para su diseño.

4.3.1. Caracterización de biocombustibles

Andalucía cuenta con una gran riqueza biomásica, principalmente procedente de los cultivos del olivar y sus derivados. A continuación, se definen los principales tipos de biomasa que se encuentran en la región y sus principales usos [22].

4.3.1.1. Pellets de biomasa

Son un tipo de combustible estandarizado a nivel internacional que tiene forma de pequeños cilindros. Se forman compactando serrín y virutas secas provenientes de la industria maderera, o producidos a partir de astillas [22].

En general, tienen menos de un 10% de humedad y una durabilidad mecánica del 97,5%. Tienen un contenido de finos menor al 1 o 2% y un contenido de cenizas y azufre en torno al 0,7 y 0,05% respectivamente. Llevan pocos aditivos y su poder calorífico es de 4.300 kcal/kg aproximadamente.

Los pellets sufren degradación con la humedad, con lo que requieren almacenamiento impermeable. Hay que tener especial cuidado con su durabilidad mecánica, ya que si éstos se degradan en polvo tienen unas propiedades de combustión distintas que pueden ocasionar problemas. La degradación de los pellets en polvo puede ocasionar graves problemas tanto en la combustión como en el sistema de transporte o almacenamiento.

En la Figura 5 se puede observar la evolución del precio de los pellets de madera desde finales de 2014 hasta el final de 2015.

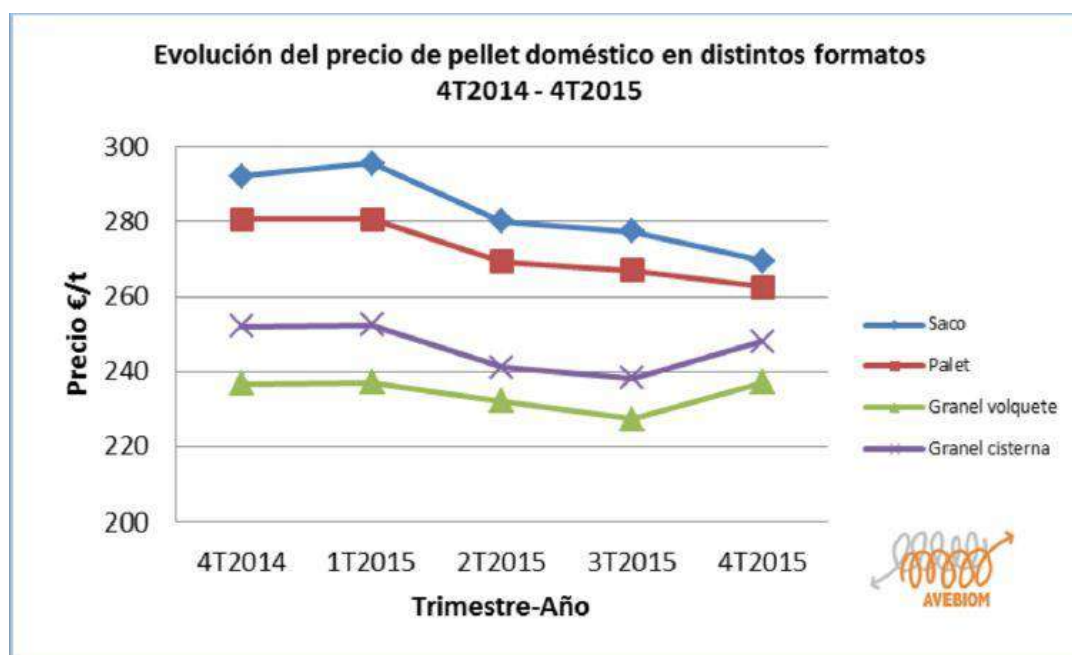


Figura 5. Precios de los pellets de madera desde finales de 2014 hasta el último trimestre de 2015 [45]

4.3.1.2. Leña y briquetas

Este tipo de combustible se da con menos frecuencia en calderas de biomasa. No obstante, su uso se reduce exclusivamente viviendas unifamiliares situadas en zonas donde abunda este recurso [22].

Por una parte, la leña procede de trozos de troncos de árboles que han sido cortados y no se van a emplear para la producción de madera. Su eficiencia dependerá de la humedad y del tipo de madera que sea. Su tamaño puede ir desde piezas menores de 20 centímetros de longitud, con diámetros menores de 2 centímetros, hasta piezas con longitud superior a 1 metro y diámetros mayores de 35 centímetros.

Por otro lado, las briquetas son cilindros de un tamaño superior al de los pellets, que provienen normalmente de serrines y virutas de aserraderos. Las briquetas tienen una humedad menor del 10%, un PCI superior a los 16,9 MJ/kg (4,7 kWh/kg) y una densidad en torno a los 1.000 kg/m³. El contenido en cenizas no llega al 0,7%.

4.3.1.3. Astillas

Las astillas son trozos pequeños de madera entre 5 y 100 mm de longitud. Una de sus principales ventajas es su bajo coste de pretratamiento, ya que solo requieren astillado y secado. Sin embargo, se requiere un mayor espacio de almacenamiento.

Por otro lado, el control de calidad de las astillas es relativamente importante, ya que tiene unas características poco homogéneas.

En cuanto al coste de venta de las astillas, se puede ver su evolución en la Figura 6 desde finales de 2014 hasta noviembre de 2015.

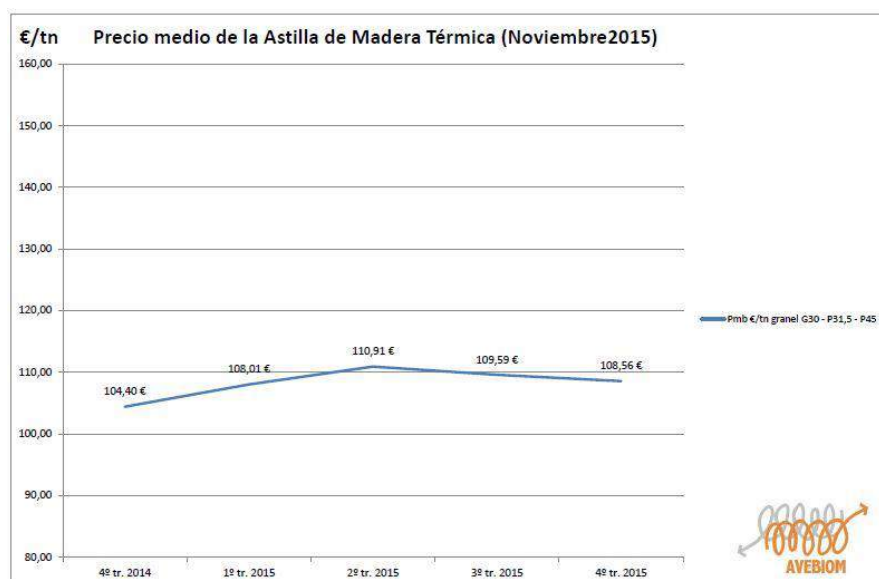


Figura 6. Precios de los pellets de madera desde finales de 2014 hasta noviembre de 2015 [27]

4.3.1.4. Residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales provienen principalmente de las industrias de la producción de aceite de oliva y aceituna, de las alcohólicas y la uva y de los frutos secos. Normalmente los fabricantes someten estos productos a procesos de secado para reducir el contenido de humedad y aumentar así su poder calorífico inferior.

Entre los residuos agroindustriales se pueden destacar la biomasa procedente del olivar o las cáscaras de almendra, pistacho, piña, piñón, etc., siendo la biomasa del olivar la más abundante en Andalucía.

→ Biomasa del Olivar

Uno de los principales cultivos desarrollados en Andalucía es el olivo, siendo el aceite de oliva uno de los productos más prestigiosos de la comunidad. Además de este producto principal, en su procesamiento se generan una serie de subproductos con gran capacidad energética que se pueden emplear para otros fines. En la Figura 7 aparecen todos los subproductos originados [23].

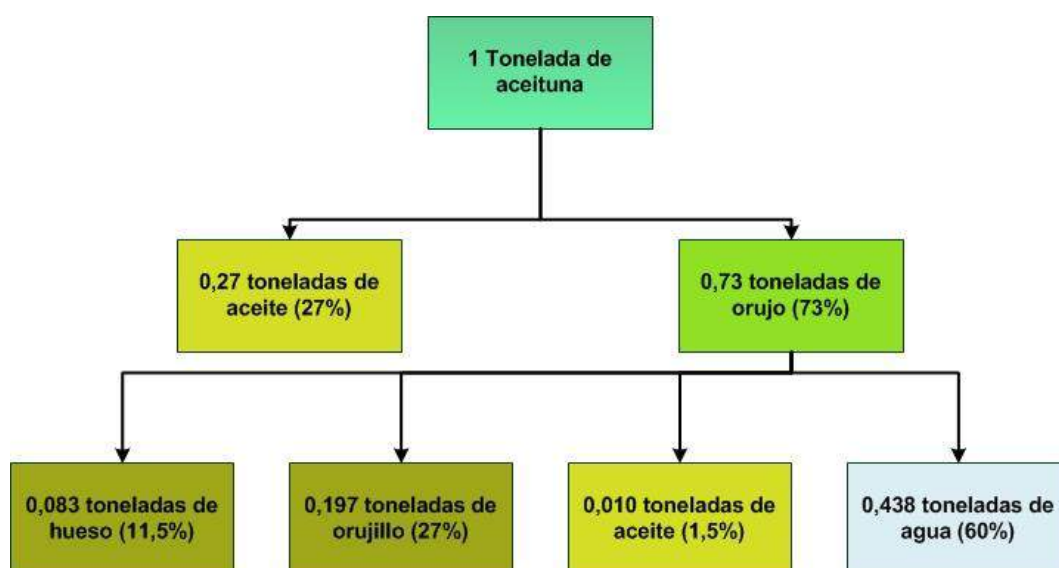


Figura 7. Balance de masa de la industria del aceite [23]

Como se puede observar, más de la mitad de los productos de un olivar forman parte de los deshechos. Es por esto por lo que se intentan buscar alternativas que permitan su uso. El orujillo y los huesos se pueden emplear como biocombustibles, que mediante su combustión producen energía.

El hueso es un material con unas excelentes propiedades: elevada densidad, humedad media del 15%, granulometría muy uniforme y poder calorífico de 4500 kcal/kg en base seca. Es adecuado para uso térmico, tanto a escala industrial como doméstica, debido a su buen manejo, las bajas emisiones de partículas en su combustión y sus condiciones inodoras.

En la Figura 8 se muestra la evolución del precio de los huesos de aceituna en España desde el último trimestre de 2014 hasta noviembre de 2015.

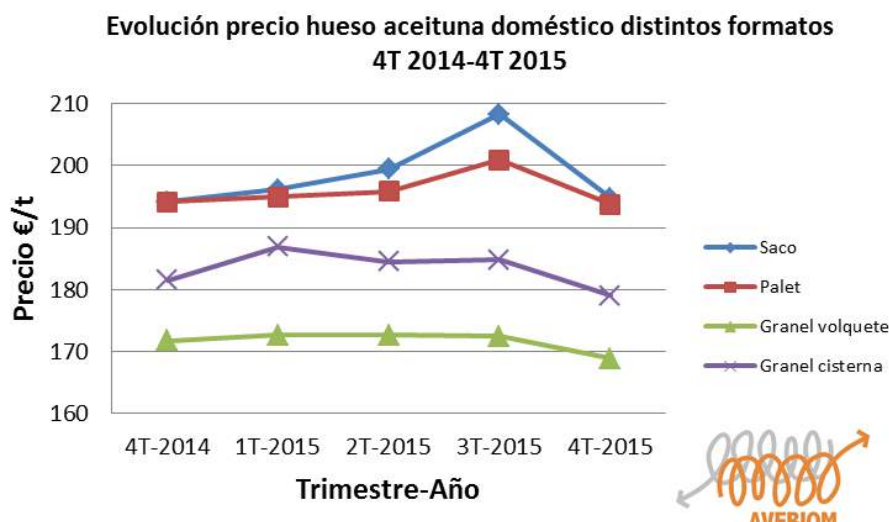


Figura 8. Precios de los pellets de madera desde finales de 2014 hasta noviembre de 2015 [28]

→ Cáscaras de frutos secos

Este tipo de biomasa se encuentra en las zonas cercanas a los centros de producción y transformación de frutos secos. Dentro de este grupo se pueden nombrar las cáscaras de almendra, de avellana, piña, piñones y cacahuetes. En la Tabla 4 se muestran las principales características de las cáscaras de almendras.

Tabla 4. Características de las cáscaras de almendra [1]

Cáscara de almendra	
Humedad (%)	12
Densidad aparente (kg/m³)	470
PCI b.s. (kJ/kg)	15.900

4.3.2. Elección del biocombustible adecuado

Para elegir el mejor biocombustible a utilizar en la caldera se deben tener en cuenta algunos aspectos. Los principales en orden de importancia son [24]:

1. Espacio disponible de almacenamiento del biocombustible. Esta situación condiciona la elección del combustible, ya que si se dispone de poco espacio no será adecuado un combustible de poca densidad porque habría poco inventario disponible y habría que estar haciendo pedidos continuamente.

2. Mercado local de biocombustibles. Una vez que se conoce la disponibilidad, habrá que estudiar la calidad y el precio del combustible.
3. Tipo de caldera a emplear. En el mercado existen una gran cantidad de tipos de calderas, de modo que habrá que buscar el combustible más adecuado para la misma.

4.3.2.1. Espacio disponible para el almacenamiento

En el caso que se presenta, el espacio de almacenamiento disponible es amplio y se va a construir una vez que se haya elegido la caldera y el tipo de combustible a emplear, teniendo en cuenta el espacio que hay en la zona de la instalación. En la Figura 9 se muestra un mapa de la zona, y se puede apreciar fácilmente que el espacio situado a la derecha de la vivienda es amplio y mayor que la superficie que ocupa la casa. Es por esto por lo que no es un problema serio la ubicación e instalación del almacenamiento del combustible.



Figura 9. Entorno y vivienda en el que se va a realizar la instalación de la caldera y la sala de máquinas

4.3.2.2. Mercado local de biocombustibles

La Agencia Andaluza de la Energía tiene disponible una herramienta que permite localizar todos los puntos de suministro de energías limpias en Andalucía. De esta forma se pueden localizar todos los puntos de ventas de biocombustibles sólidos más cercanos del punto en el que se quiere instalar la caldera. En la provincia de Sevilla se tienen distribuidores de pellets, hueso de aceituna, astillas y briquetas, pero sin embargo en otras provincias como Córdoba o Málaga hay distribuidores que venden cáscaras de frutos secos u orujillo como biocombustibles [41].

Teniendo en cuenta que el almacenamiento del combustible se diseñará a posteriori y que los residuos agroindustriales son más baratos y se ajustan bien a los requisitos establecidos, se va a optar por emplear un combustible de tipo agroindustrial, tal como hueso de aceituna, orujo o las cáscaras de algún fruto.

A continuación, se ha recogido en la Tabla 5 una lista de distribuidores de biomasa que se pueden considerar para comprar el combustible que se empleará en la caldera [41].

Tabla 5. Puntos de distribución de biomasa considerados

Nombre del establecimiento	Localización	Distancia	Ámbito	Productos	Presentación	Transporte
Neobioenergéticas Del Suroeste S.L.	Dos Hermanas (Sevilla)	52	Regional	Pellets	Sacos/granel	Sí
				Hueso de aceituna	Sacos/granel	
				Astilla	Granel	
Alumbro S.L.	Herrera (Sevilla)	140	Regional	Pellets	Sacos	Sí
				Hueso de aceituna	Sacos	
Renovables Biomadis	Nueva Carteya (Córdoba)	175	Nacional	Pellets	--	No
				Leña	--	
				Cáscara de almendra	--	
				Hueso de aceituna	--	
Olihueso S.L.	Encinas Reales (Córdoba)	195	Nacional	Hueso de aceituna	Sacos, granel y big bags	Sí
				Orujillo	Granel	
				Cáscara de almendra	Granel	
Plasolgen S.L.	Puente Genil (Córdoba)	160	Nacional	Pellets	Sacos/granel	Sí
				Cáscara de almendra	Sacos/granel	
				Cáscara de piñón	Sacos/granel	
				Cáscara de piña	Sacos/granel	
				Hueso de aceituna	Sacos/granel	
				Orujillo	Sacos/granel	
				Astilla	Sacos/granel	
Calor Biogreen	Bailén (Jaén)	250	Nacional	Hueso de aceituna	Sacos/granel/ Big gags	Sí
				Pellets	Sacos	

En esta lista de distribuidores se han omitido aquellos que son de ámbito local o no pueden proporcionar combustibles hasta la localidad de la vivienda. Además de comparar todos los aspectos que aparecen en la Tabla 5, habrá que comparar también la relación calidad precio de cada producto para cada distribuidor. Por ello se va a hacer una comparación entre ellos en la Tabla 6.

Tabla 6. Propiedades de los combustibles biomásicos [25]

Combustible	PCI _{seco} (MJ/kg)	Humedad (%b.h.)	Uso	Precio (€/t)
Pellets	18-19,5	<12	Doméstico Residencial	150-300
Hueso de aceituna	18	12-20	Doméstico Residencial Industrial	60
Cáscara de frutos secos	16,7	8-15	Doméstico Residencial Industrial	60
Poda de olivar	17.2	20-60	Doméstico Residencial Industrial	36-50
Poda de vid	16,7	20-60	Doméstico Residencial Industrial	36-60
Leña	14,4-16,2	20-60	Doméstico	90-120
Astillas	14,4-16,2	20-60	Doméstico Residencial Industrial	36-80
Briquetas	18-19,5	<12	Doméstico	150-300

Teniendo en cuenta todas las características de los biocombustibles, se observa que el que mejores propiedades tiene son los pellets. Sin embargo, su coste es superior al de otros. Por ello lo que se busca es un equilibrio calidad-precio en el que se pueda obtener un producto de calidad al menor coste. Así se puede optar por un combustible del tipo de huesos de aceitunas (siendo el más abundante en la región) o cáscara de frutos secos, los cuales tienen menos humedad que otros y el coste es bajo.

Tras realizar un análisis exhaustivo de todas las opciones posibles, existen dos distribuidores que ofrecen un buen servicio, el cual puede cubrir las necesidades de la instalación. A continuación, se muestran los productos y los precios de cada uno de ellos, de forma que se puede comparar entre ambos distribuidores:

Tabla 7. Comparación de alternativas en cuanto a distribución de biocombustibles [45, 49]

OLIHUESO				CALOR BIOGREEN			
Productos	Formato	Precio	Gastos de envío	Productos	Formato	Precio	Gastos de envío
Hueso de aceituna	Pallet de 50 sacos de 20 kg	169,40 €	107,99 €	Pellets de madera de pino	Pallet 72 Sacos de 15 kg	193,21 €	130,40 €
	Big Bag de 700 kg	110,11 €	80,04 €	Hueso de aceituna	Pallet de 50 sacos de 20 kg	160 €	130,40 €
	Big Bag de 1.000 kg	157,30 €	107,99 €		Big Bag 1.000 kg	158€	--
	Big Bag de 1.150 kg	180,90 €	124,21 €		Saco 20 kg	3,30 €	--
	Granel 5.000 kg	726 €	153,67 €		Granel 1.000 kg	140 €	--
Cáscaras de almendra sin triturar	Granel 25.000 kg	4.050 €	0 €				

Además, Olihueso asegura el suministro en 5 días laborables, mientras que Calor Biogreen lo hace en un período de 48 a 72 horas una vez que reciban el pedido, lo que equivale a un período similar al de Olihueso.

Una vez que se han comparado ambos distribuidores, así como sus productos, se llega a la conclusión de que la mejor opción es elegir los huesos de aceituna tratados que ofrece Olihueso, ya que se asegura así el suministro continuado según las necesidades de combustibles de la caldera. Además, este distribuidor ofrece la posibilidad de realizar pedidos por internet, simplemente a través de un usuario que habría que crearse en su página web. Por tanto, éste será el distribuidor de combustible al que se le van a realizar las compras de combustibles necesarias para el sistema de calefacción de la vivienda.

Asimismo, el formato adecuado para la recepción del combustible será a granel. La cantidad a suministrar se estudiará posteriormente en el diseño del almacenamiento de dicho material. El distribuidor además incluye la descarga a pie de camión por parte de la empresa, sin ningún tipo de gasto adicional.

Por otra parte, se dispone de una hoja de especificaciones procedente de un laboratorio en el que se ha llevado a cabo un análisis del combustible elegido:

Tabla 8. Propiedades de los huesos de aceituna tratados distribuidos por Olihueso [45]

PARÁMETRO (método)	RESULTADOS	UNIDADES
Humedad 105 °C (Gravimetría)	10,95	g/100g
Cenizas 550 °C (Gravimetría)	0,48	g/100g s.m.s.
Grasas (Gravimetría)	0,49	g/100g s.m.s.
Densidad aparente (Gravimetría)	0,750	g/cc
Nitrógeno- N (Volumetría)	0,17	g/100g s.m.s.
Sulfatos- S (Absorción molecular)	0,01	g/100g s.m.s.
Cloro-Cl (Volumetría)	0,03	g/100g s.m.s.
Arsénico- As (Absorción atómica)	< 0,1	mg/kg s.m.s.
Cadmio- Cd (Absorción atómica)	< 0,1	mg/kg s.m.s.
Cromo- Cr (Absorción atómica)	0,72	mg/kg s.m.s.
Cobre- Cu (Absorción atómica)	2,62	mg/kg s.m.s.
Plomo- Pb (Absorción atómica)	< 0,1	mg/kg s.m.s.
Mercurio- Hg (Absorción atómica)	< 0,1	mg/kg s.m.s.
Níquel- Ni (Absorción atómica)	0,20	mg/kg s.m.s.
Zinc- Zn (Absorción atómica)	0,88	mg/kg s.m.s.
Granulometría (Gravimetría)		
F < 1 mm	< 1	g/100g
F < 2 mm	11,6	g/100g
3,2 mm < P < 4 mm	18,2	g/100g
P > 4 mm	< 1	g/100g
Poderes Caloríficos (Calorimetría)		
PCS base seca	4837	cal/g
PCS base húmeda	4248	cal/g
PCI base seca	4470	cal/g
PCI base húmeda	3926	cal/g

Posteriormente, cuando se calcule la cantidad de combustible que consume la caldera, se estimarán las necesidades de combustible y los intervalos de tiempo en los que se harán pedidos de combustible, así como la cantidad que se comprará cada vez.

4.2. Almacenamiento de biocombustibles

La elección de un depósito u otro va a depender de las disponibilidades de espacio que se tengan, aunque se recomienda que se tenga un espacio de almacenamiento para la cantidad de combustible requerida durante un año. A continuación, se describirán los tipos de almacenamiento que hay para este tipo de combustibles y se procederá a la elección del mismo.

La vivienda estaba construida de antemano y el sistema de calefacción se va a instalar desde el principio, por ello el sistema de almacenamiento se va a construir teniendo en cuenta las necesidades del biocombustible.

Al elegir el sistema de almacenamiento habrá que tener en cuenta el espacio disponible y la disponibilidad del mismo, el tipo de distribución de biomasa que se va a emplear y las necesidades del biocombustible [24]. Por ello se va a hacer un análisis del almacenamiento que requiere cada uno de los combustibles posibles para la caldera de biomasa.

En primer lugar, los sistemas de almacenamiento de biocombustibles tienen que satisfacer las condiciones establecidas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, que se pueden resumir en los siguientes puntos [5]:

- ◆ Las instalaciones con potencia igual o menor a 70 kW o con una capacidad de almacenamiento menor o igual a 5 toneladas deberán poseer envases o depósitos de almacenamiento. Si la carga térmica o la capacidad de almacenamiento es mayor a los valores dados, se debe tener instalado un espacio de almacenamiento de uso exclusivo.
- ◆ El sistema de almacenamiento podrá ser superficial o subterráneo, pudiendo usarse también contenedores específicos.
- ◆ Se debe tener un sistema de vaciado del almacenamiento, para las labores de mantenimiento o en caso de riesgo de incendio.
- ◆ La sala de calderas y el lugar de almacenamiento deben estar separados, pero en caso de que la vivienda ya estuviera construida y eso no fuera posible se hará una división del espacio, estando el espacio de almacenamiento como mínimo a 0,7 m de la caldera, separados con una pared con resistencia ante el fuego.
- ◆ Las paredes, techo y suelo del lugar de almacenamiento no deben permitir filtraciones de humedad.
- ◆ Las paredes y la puerta del almacenamiento deben soportar la presión que ejerce el biocombustible contra ellas. Además, deberán incluir las exigencias del reglamento vigente de protección contra incendios. Asimismo, deben contar con sistemas de detección y extinción de incendios.
- ◆ No se permiten las instalaciones eléctricas dentro del almacenamiento.
- ◆ Si se emplea un sistema de transporte neumático para el llenado del almacenamiento se debe instalar un sistema de protección en la pared del almacenamiento donde impacta el biocombustible para evitar la desintegración de la misma. Asimismo, se deben diseñar dos aberturas, una de conexión a la manguera de llenado y otra de salida de aire para evitar sobrepresiones y para permitir la aspiración del polvo impulsado durante el llenado.
- ◆ Si se usa sistema de llenado mediante descarga directa a través de compuertas a nivel del suelo, éstas deben tener los elementos necesarios de seguridad para evitar caídas dentro del almacenamiento.

A continuación, en la Tabla 9 se va a hacer una descripción de los tipos de almacenamiento de biocombustibles que existen, así como las distintas posibilidades que hay dentro de cada tipo. Además, se van a describir todos los tipos de almacenamiento uno a uno de forma más detallada.

Tabla 9. Sistemas de almacenamiento de biomasa [22]

Tipo de almacenamiento	Tipo de almacenamiento	Sistema de carga del silo	Sistema de alimentación de la caldera	Observaciones
Almacenamiento prefabricado	Contenedor o tolva exterior	Neumático	Neumático o tornillo sinfín	Para viviendas unifamiliares
	Silo flexible	Neumático o semiautomático	Neumático o tornillo sinfín	Capacidad de 2 – 5 t. Para viviendas unifamiliares o pequeños edificios. Puede ser de lona o polipropileno
	Depósito subterráneo	Neumático	Neumático	Para viviendas unifamiliares o grandes instalaciones
	Tolva o almacenamiento integrado	Semiautomático	Semiautomático	Pequeño tamaño e integrado en caldera
Almacenamiento de obra (sala nueva o adaptación de una existente)	Con suelo inclinado de 2 lados	Neumático o descarga directa por trampilla	Neumático o tornillo sinfín	No necesita agitador
	Suelo inclinado 1 lado	Neumático o descarga directa por trampilla	Neumático o tornillo sinfín	Agitador solo hasta 25°. A mayor inclinación, mayor espacio muerto bajo los lados inclinados
	Suelo horizontal	Neumático o descarga directa por trampilla	Neumático o tornillo sinfín	Siempre agitador
		Descarga directa	Semiautomático	Para combustibles heterogéneos difíciles de automatizar

4.2.1. Tipos de sistemas de almacenamiento de biomasa

4.2.1.1. Almacenamientos prefabricados

Este tipo de almacenamientos están diseñados especialmente para materiales estandarizados y con una granulometría más o menos uniforme, como los pellets, astillas o incluso huesos de aceitunas o cáscaras de almendra. Para combustibles más heterogéneos sería necesario un almacenamiento de obra. Se pueden distinguir varios tipos, que se detallan a continuación [22].

→ Contenedor o tolva exterior

Es la opción más favorable cuando se dispone de poco espacio para el almacenamiento. Se pueden conseguir largos periodos de autonomía, ya que se pueden almacenar hasta 3.000 kg de combustible. Van situados al lado de la sala de calderas y el material se puede transportar tanto por transporte sinfín como por un sistema neumático. Su llenado se haría mediante un sistema neumático.

→ Silo flexible

Pueden ser de lona o de polipropileno y es un sistema de almacenamiento óptimo cuando el espacio destinado al almacenamiento no es suficiente como para hacer una instalación mayor. Están soportados por una estructura metálica que es permeable al aire, pero no al polvo y además se conecta a tierra para

evitar descargas electrostáticas. Se llena por la parte superior y se descarga por la parte inferior con un sistema neumático o un tornillo sinfín. Pueden ser cuadrados o rectangulares, con una capacidad de entre 2 y 5 toneladas.

Se puede instalar tanto en el interior como en el exterior, pero en el caso de situarse a la intemperie se debe proteger contra la lluvia y la radiación solar. Además, hay que asegurarse de que no tiene ningún riesgo en caso de rachas fuertes de viento, por ello se debe colocar como base en cada poste una estructura de hormigón de 50 cm de alto, 50 cm de largo y 50 cm de profundidad.

→ **Depósito subterráneo**

Se emplea cuando no hay espacio suficiente en la superficie para colocar un depósito. La alimentación se haría a la caldera con un sistema neumático o con un tornillo sinfín. Al estar situado bajo la superficie, debe ser resistente a la corrosión y al paso del tiempo, debido a la complejidad que tendría una sustitución del mismo por uno nuevo.

→ **Tolva o almacenamiento integrado**

Algunas calderas de biomasa poseen un silo de almacenamiento integrado, que en caso de calderas de baja potencia podría ser suficiente. En caso de tener una caldera mayor, se debería tener un almacenamiento auxiliar de mayor tamaño o una distribución de combustible regular. Su mayor ventaja es el poco espacio que ocupa.

4.2.1.2. Almacenamientos de obra

Los almacenamientos de obra son salas de nueva construcción destinadas exclusivamente para el uso como almacén o salas existentes que se han adaptado para tal uso. El primer requisito que debe cumplir es la ausencia de humedad. Si es subterráneo, debe tener una puerta de dé acceso al mismo. Dicha puerta debe ser estanca para que el polvo no escape y debe tener un dispositivo interior de contención para evitar la salida de biomasa al abrir la puerta. Esto consiste en varios listones de madera colocados unos encima de los otros que se pueden ir deslizando hacia arriba y sacándose hasta ver la altura de biomasa almacenada. Asimismo, la puerta debe abrir hacia fuera y debe haber una mirilla o ventana para poder inspeccionar sin necesidad de abrir la puerta [22].

Si el suministro es neumático, la puerta debe situarse bajo el nivel de las toberas, ya que el combustible se almacena preferentemente al lado opuesto. Si el llenado es por descarga directa, la puerta estará al lado opuesto a la trampilla de carga por las mismas razones.

→ **Almacenamiento con suelo inclinado de dos lados**

Este tipo de almacenamiento se emplea en silos rectangulares en los que un rascador no podría barrer por completo todo el silo. Para ello se colocan dos falsos suelos inclinados para que el combustible almacenado se deslice por gravedad hasta el tornillo sinfín o sistema neumático que transporta el combustible hasta la caldera. Es recomendable una inclinación entre 35 y 45° para facilitar el vaciado.

El principal problema que tiene este tipo de almacenamiento es el espacio que se pierde debajo de las rampas inclinadas, lo que hace que se ocupe solo 2/3 del silo.

→ **Almacenamiento con suelo inclinado de un lado**

Este sistema es adecuado para silos cuadrados. El grado de inclinación del suelo determina la utilización de rascadores, ya que mientras menor sea la inclinación, menor espacio se pierde. Sin embargo, la utilización de rascadores es requerida al tener una menor inclinación. Esto implica un aumento del coste de la instalación, lo cual se contrarresta evitando el uso de tornillo elevador para alimentar la caldera.

→ Almacenamiento con suelo horizontal

Es la solución más adecuada cuando se dispone de poco espacio o cuando el combustible tiene una densidad baja. El suelo horizontal requiere la utilización de rascadores horizontales hidráulicos, lo que aumenta el coste del almacenamiento, pero optimiza su volumen. Es más conveniente que el silo sea redondo o cuadrado para un mayor aprovechamiento del espacio.

4.2.2. Dimensionamiento del silo

A la hora de llevar a cabo el dimensionamiento del sistema de almacenamiento de biomasa se van a tener en cuenta una serie de factores que condicionarán su diseño. Cabe citar entre ellos el tipo de combustible a almacenar, la carga térmica de la caldera, el espacio disponible o la fiabilidad del suministro.

Para almacenamientos de nueva construcción se recomienda usar uno de estos criterios para determinar su tamaño [22]:

- Una temporada de funcionamiento de la instalación, así sólo es necesario recargar el silo una vez al año.
- 1,5 veces el volumen del camión de suministro, de esta manera es posible recargar el silo con un camión completo antes de que se acabe el combustible.
- 2 semanas de consumo máximo de combustible: éste es el volumen mínimo exigido por el RITE para edificios de nueva construcción.

Haciendo un análisis de cada uno de los criterios anteriores, se obtienen los siguientes resultados:

- ◆ Temporada completa de funcionamiento:
 - Potencia de funcionamiento de la caldera: 54,13 kW.
 - Consumo de combustible a la potencia de funcionamiento: 9,58 kg/h¹.
 - Consumo de combustible durante una temporada, considerándose una temporada de invierno como 1.500 h [22]: 14.375,5 kg.
 - Volumen de combustible consumido en una temporada (la densidad del combustible es 750 kg/m³): 19,17 m³.

Por tanto, para poder cubrir una temporada completa con el combustible, de forma que solo haya que recargar el silo al inicio de la temporada, se requerirá un almacenamiento de 20 m³ de volumen aproximadamente.

- ◆ 1,5 veces el volumen del camión de suministro. Este dato no es conocido a priori, por lo que no se va a considerar este criterio como una condición relevante en la elección del tamaño del silo.
- ◆ Dos semanas de consumo máximo de combustible:
 - Potencia máxima de funcionamiento: 61 kW.
 - Consumo de combustible a la potencia máxima: 10,8 kg/h.
 - Consumo de combustible: 3.628,8 kg/h, lo que equivale a 4,84 m³.

¹ El fabricante de la caldera ha proporcionado los datos de consumo de combustible para pellets, siendo el rango de éste entre 4,39 y 13,1 kg/h de pellets de madera. Haciendo una conversión a huesos de aceituna, tanto por humedad como densidad, el rango obtenido es entre 3,62 y 10,8 kg/h. Por tanto, para calcular dicho valor a la potencia de funcionamiento de la caldera solo se ha tenido que realizar una relación

Por tanto, en este caso se requeriría un silo de un volumen de unos 5 m^3 , para poder cumplir este criterio.

Observando los resultados obtenidos, lo más lógico sería adoptar una solución intermedia, esto quiere decir que se debe instalar un almacén mayor al mínimo valor que establece el RITE (dos semanas de consumo máximo), pero de menor tamaño a aquel que puede albergar una cantidad de combustible que permite el abastecimiento de toda una temporada completa. Esta es la solución más lógica, ya que, si el combustible tardaría aproximadamente una semana en llegar a destino desde el punto de suministro, así no hay que estar haciendo pedidos constantemente, pero tampoco el combustible tiene que permanecer períodos prolongados dentro del silo, lo que le llevaría a estar más expuesto a la humedad y podría sufrir deterioros.

Por todos los motivos explicados anteriormente, se va a optar por elegir un silo de 15 m^3 , lo que equivale a 11.250 kg . De esta forma, se hará un pedido inicial al principio de la temporada de 8.000 kg ($10,7 \text{ m}^3$) de combustible, lo que podrá abastecer la caldera durante la mitad de la temporada, y otro pedido de 7.000 kg cuando el silo esté a la mitad, así se termina de llenar el almacén de combustible, y además se asegura el funcionamiento de la caldera para toda la temporada. Los pedidos no son de la misma cantidad porque el distribuidor solo reparte cantidades de cifras redondeadas, con lo que no se permite una distribución de 7.500 kg .

Por otra parte, si se presentase algún invierno con un mayor consumo de combustible, se pueden hacer pedidos adicionales de menor cantidad, suponiendo esto que el combustible debe ser recibido en otro formato, tal como sacos de 15 kg o big bags.

4.2.2.1. Elección del tipo de silo y diseño

Si se tiene en cuenta que el silo va a tener un tamaño considerable, la mejor opción sería decantarse por un silo de obra, ya que la estructura de una tolva exterior podría dar problemas al tener que soportar un peso elevado.

Se determinó que el silo tendría un volumen de 15 m^3 , pero como $1/3$ del silo se pierden debido a la inclinación y al espacio que hay que dejar por la parte superior, se va a construir de $22,5 \text{ m}^3$. Además, estará situado junto a la sala de calderas, de forma que la pared que los separe esté protegida contra el fuego. Su altura será de 3 m , al igual que la sala de calderas. Por tanto, habrá que calcular solo su área superficial y determinar si tendrá el suelo inclinado o no. Para ello se van a estudiar las distintas posibilidades.

→ Elección de un silo rectangular con dos lados inclinados

Esta opción es útil si se dispone de gran espacio, ya que debajo de las rampas se pierde algún volumen.

En la Figura 10 se observa cómo quedaría el diseño del silo, de forma esquemática:

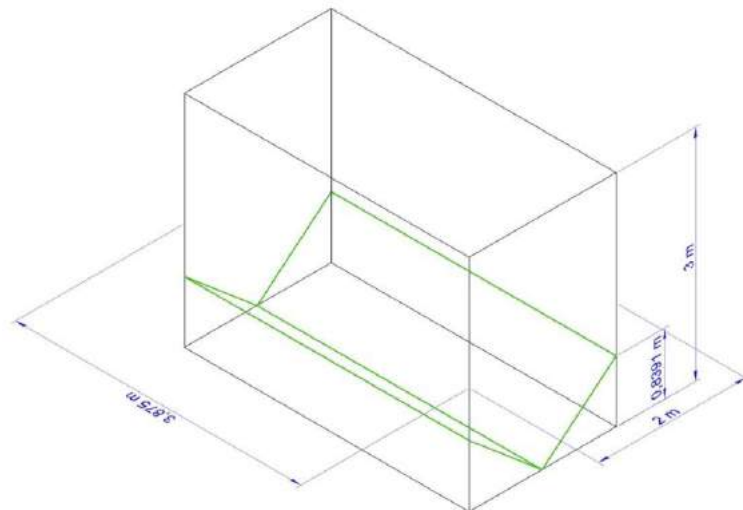


Figura 10. Esquema del silo con dos lados inclinados

Dicho silo tendría un volumen útil de 20 m^3 y se perdería un volumen de $3,252 \text{ m}^3$ debajo del suelo inclinado.

→ **Elección de un silo cuadrado con suelo inclinado**

En este caso los dos lados del silo tienen la misma medida, y el suelo solo tiene una inclinación. Un modelo propuesto es el representado en la Figura 11:

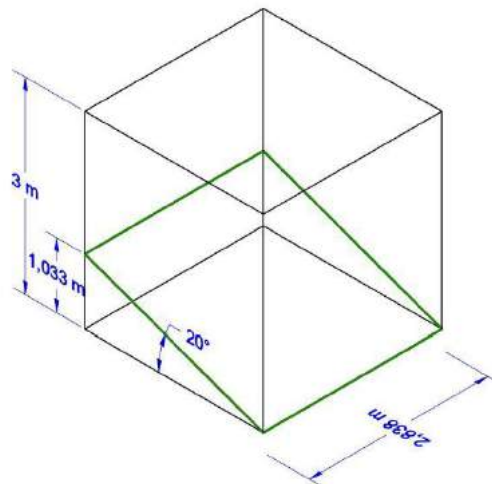


Figura 11. Esquema de un silo con un lado inclinado

Este silo también tiene un volumen útil de 20 m^3 , y se pierde un espacio de $4,150 \text{ m}^3$. Además, habría que instalar rascadores para que el material pueda acceder adecuadamente hacia el transportador.

Una tercera opción sería un silo con el suelo horizontal, pero habría que instalar rascadores para ir arrastrando el material, lo que encarecería la instalación.

Por tanto, opción más idónea es la primera, es decir, la instalación de un silo con los dos lados inclinados, de forma que el material se irá dirigiendo hacia el tornillo sinfín por la acción de la gravedad, sin necesidad de ningún elemento mecánico que lo impulse.

El diseño definitivo sería el siguiente:

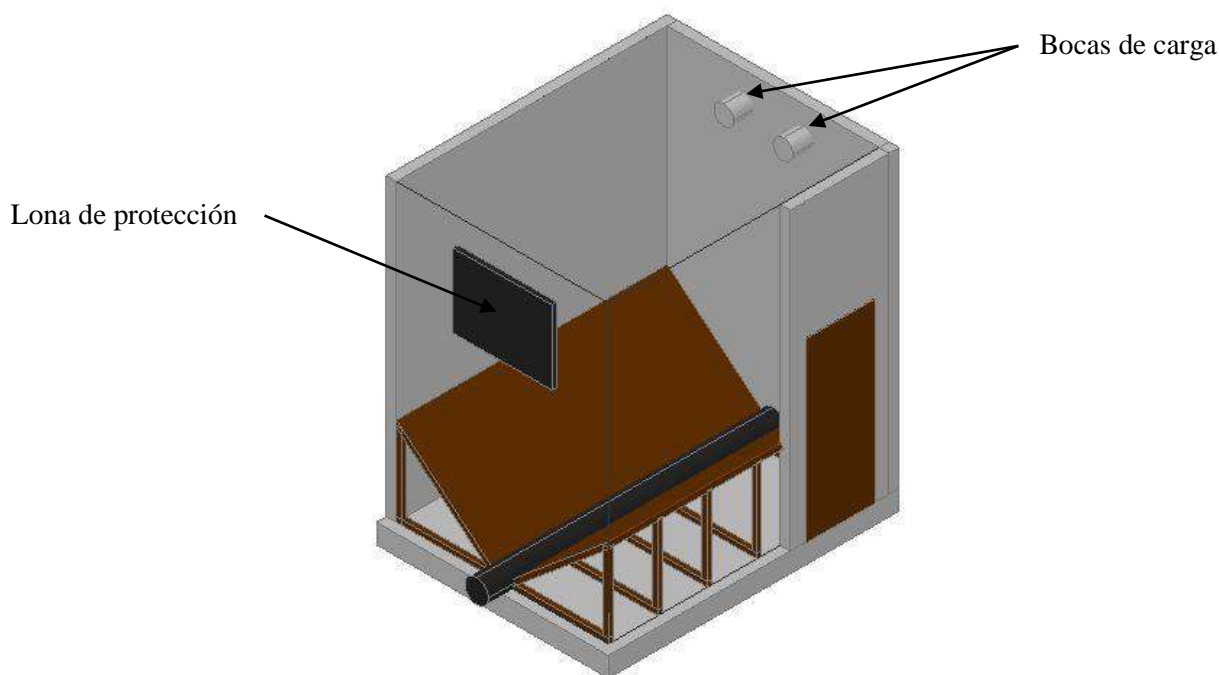


Figura 12. Silo de almacenamiento para el combustible

Las dimensiones del silo son las siguientes:

- Dimensiones: 2,7x2,78x3 m
- Ángulo de inclinación del suelo: 40°

4.2.2.2. Elementos auxiliares del silo

Además del espacio de almacenamiento, el silo debe llevar algunos complementos. Estos son las conexiones para la entrada de material al silo, el tornillo sinfín, una lona de apantallamiento para evitar el deterioro de la pared del silo debido al impacto de los huesos de aceituna al llenar al silo, así como un perfil en Z de madera para colocarlo en la puerta del silo para prevenir la salida de material.

→ Bocas de carga

El llenado del almacén de combustible se puede hacer tanto manualmente como con transporte neumático. Para ambos casos será necesario dejar un espacio conectado con el exterior para que pueda entrar el combustible.

En este caso se van a elegir unas bocas de llenado para una descarga de combustible mediante transporte neumático, tal y como muestra la Figura 13. El material será impulsado mediante un chorro de aire que proporcionará el camión de forma que se traslada el combustible desde el interior del camión hasta el silo.

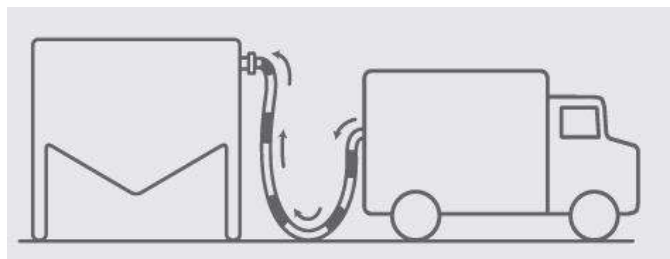


Figura 13. Descarga neumática del combustible [50]

Para la entrada del material será necesaria una boquilla de llenado [50]. Esta boquilla consta de un racord y de una extensión. El racord es una boca exterior que conecta la tubería proveniente del camión con el silo. En caso de tratarse de un silo de obra se deberán colocar dos. La extensión va conectada a la boca de carga y desemboca en el interior del silo. Además, debe haber otra boca al lado para permitir la salida del aire del silo.



Figura 14. Racord y extensión para la boca de carga del silo [50]

→ Lona de protección para impacto del combustible

Al lado opuesto de las bocas de carga se debe colocar una lona de goma que previene tanto el deterioro del silo como del combustible. Al llenar el silo se proyecta el material a una alta velocidad, lo que puede provocar su impacto en la pared opuesta. Por ello se pone una lona de goma que hará que la pared del silo no se vaya desgastando debido al golpeteo de los huesos de aceituna contra la misma. Asimismo, así se previene el deterioro del combustible, ya que la goma es un material flexible que no daña las partículas que chocan contra ella.



Figura 15. Lona de protección para el impacto del material [50]

→ Perfil en Z para colocar en la puerta de acceso al almacén

El silo va a tener una puerta de acceso para labores de mantenimiento. Debido a la existencia de dicha puerta, se pueden producir pérdidas de combustible por los espacios que ésta deja libre. Para ello se le instalan en los laterales de la misma unos perfiles en Z que hacen que la puerta sea estanca.



Figura 16. Perfil en Z para la puerta

→ Tornillo sinfín de canal abierto

En el silo el material va avanzando hacia la parte inferior por el efecto de la gravedad. Por ello en el fondo se coloca un transportador sinfín que llevará el combustible desde el silo hasta la caldera. Se instalará un sinfín rígido que irá desde un extremo del silo hasta la caldera. Dicho transportador debe elegirse de acuerdo con la carga que se quiere transportar, cuyo valor máximo es 10,8 kg/h, por lo que un transportador que sea capaz de llevar sin problemas esa cantidad sería suficiente.



Figura 17. Transportador de tornillo sinfín para llevar el combustible del almacén a la caldera

4.3. Elección de la caldera

En el mercado hay disponibles una amplia gama de calderas para biomasa. La elección de una u otra va a depender del combustible que se quiera emplear y de la potencia que se requiera principalmente. Por tanto, se van a estudiar las distintas alternativas teniendo en cuenta que la potencia requerida es de 48 kW aproximadamente y que el combustible será algún deshecho agroindustrial. En el mercado se pueden encontrar los siguientes tipos de calderas [25]:

- Equipos compactos: son calderas diseñadas específicamente para su uso en sistemas de calefacción doméstica. Ya incluyen los sistemas de encendido y limpieza automáticos, de forma que es más fácil de manejar por el usuario. Suelen ser equipos de baja potencia (hasta 150kW).
- Calderas con alimentador inferior: tienen un sistema de alimentación por afloramiento en la parte inferior. Tienen altos rendimientos con biomasas poco húmedas y con pocas cenizas, como pueden ser los pellets o algunos residuos agroindustriales.
- Calderas con parrilla móvil: es un sistema que se aplica para calderas más grandes, pero que permite el uso de combustibles de menor calidad y composición menos homogénea, con más humedad y cenizas.
- Calderas de combustión en cascada: son calderas con varias etapas que tienen una parrilla en forma de escalera. Se suele emplear para sistemas de tamaño medio y alto con combustibles de calidad media y alta.

Una vez que se conoce el combustible a emplear se pueden buscar calderas en el mercado para comparar sus características. El tipo de caldera a emplear para este uso será un equipo compacto policomcombustible, pues según los fabricantes son los que mejor se ajustan a las necesidades de una vivienda y son aquellos equipos que se han diseñado para potencias media-bajas. Existen numerosos fabricantes, pero se ha hecho una selección de tres modelos de tres fabricantes distintos para hacer una comparación entre ellos.

4.3.1. Biocalora

Biocalora ofrece una amplia gama de productos entre los que se pueden destacar las calderas de biomasa que permiten tanto pellets como biomasas de origen forestal. Todas las calderas que oferta de las características exigidas son equipos compactos de fácil uso para los usuarios. Se debe elegir una caldera que permita el uso de los combustibles que se han elegido previamente. Por ello se ha hecho una selección que admiten tanto los huesos de aceitunas como las cáscaras de los frutos secos. Se tienen varios modelos que se comparan en la siguiente tabla:

Tabla 10. Modelos de calderas del fabricante Biocalora [42]

Serie	Potencia (kW)	Combustibles admitidos	Rendimiento	Precio (€) (IVA no incluido)	Otras características
KP Serie 1	8/61	Pellets	91 %	3.640/12.990	- Control remoto
		Cáscara de frutos secos			- Encendido automático
		Hueso de aceituna			- Aislamiento - Cenicero alta capacidad - Limpieza semiautomática
KP Serie 2	14/80	Pellets	92 %	6.990/12.990	- Encendido automático
		Cáscara de frutos secos			- Control remoto
		Hueso de aceituna			- Aislamiento - Cenicero alta capacidad - Limpieza semiautomática
KP Serie 3	8/80	Pellets	91,2 %	4.790/14.990	- Encendido automático
		Cáscara de frutos secos			- Control remoto
					- Extracción automática cenizas - Cenicero alta capacidad - Limpieza automática - Aislamiento

Teniendo en cuenta todas las características de la caldera, la mejor opción es la KP Serie 2. Dentro de esta serie hay varios modelos dependiendo del tamaño de la instalación. El modelo a elegir sería el KP 62, que tiene una potencia nominal de 61 kW. El modelo KP 52 tiene una potencia nominal de 49,2 kW, la cual supera la potencia requerida en la vivienda, pero si el rendimiento es del 92% la potencia no llegaría a ser la que se requiere, por ello se elige un modelo con una mayor potencia nominal.

En cuanto al diseño de la caldera, el fabricante proporciona todos los datos, así como la ficha técnica y el precio de adquisición. En la Figura 189 se observa un plano de dicha caldera y en la Tabla 11 se especifican todas sus medidas.

El precio de adquisición de la caldera es de 9.890€, sin incluir el IVA ni el transporte hasta el lugar de instalación.

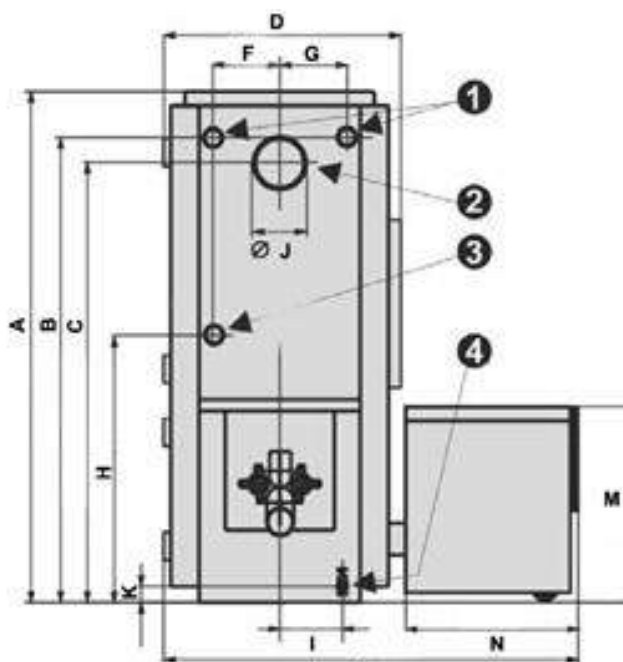


Figura 18. Esquema caldera Biocalora Serie 2 KP 62 [42]

Tabla 11. Dimensiones caldera Biocalora Serie 2 KP 62 [42]

Dimensiones (mm)	KP 62
A	1.744
B	1.610
C	1.545
D	760
F	255
G	255
H	907
I	255
K	46
L	1.185
M	612
N	383
1	G 1 ½"
J - 2	160
3	G 1 ½"
4	G1 ½"

Además de todas las dimensiones, también se posee la hoja de especificaciones de la misma, la cual se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Datos técnicos de caldera Biocalora Serie 2 KP 62 [12]

Datos técnicos	Unidad de medida	KP 62
Potencia nominal	kW	61
Rango de potencia	kW	18,3-61
Consumo de combustible ²	kg/h	4,39-13,1
Rango de eficiencia	%	91,2-89,6
Temperatura de los gases de combustión	°C	140
Tiro natural necesario chimenea	mbar	0,3-0,4
Temperatura de impulsión	°C	55-80
Peso	Kg	590
Consumo eléctrico	W	340
Voltaje de conexión	230V AC±10% / 50Hz±2Hz	
Emisiones partículas	mg/m ³	31
CO	mg/m ³	137
NO _x	mg/m ³	173

² Se ha calculado para consumo de pellets, en otro combustible habría que corregir por densidad y humedad.

4.3.2. Biosan

El grupo Biosan también ofrece calderas de biomasa compactas policombustibles. Por ello se va a estudiar dentro de su catálogo la posibilidad de usar la caldera de biomasa policombustible Serie PLC 75 kW, la cual ofrece una potencia nominal de 65 kW. Admite como combustibles pellets, madera, cereales, hueso de aceituna, cáscaras, etc. En este caso se considerará el uso de huesos de aceituna y cáscaras de almendra. Las principales características de la caldera son las siguientes [13]:

Figura 19. Esquema de la caldera Biosan Serie PLC 75 kW

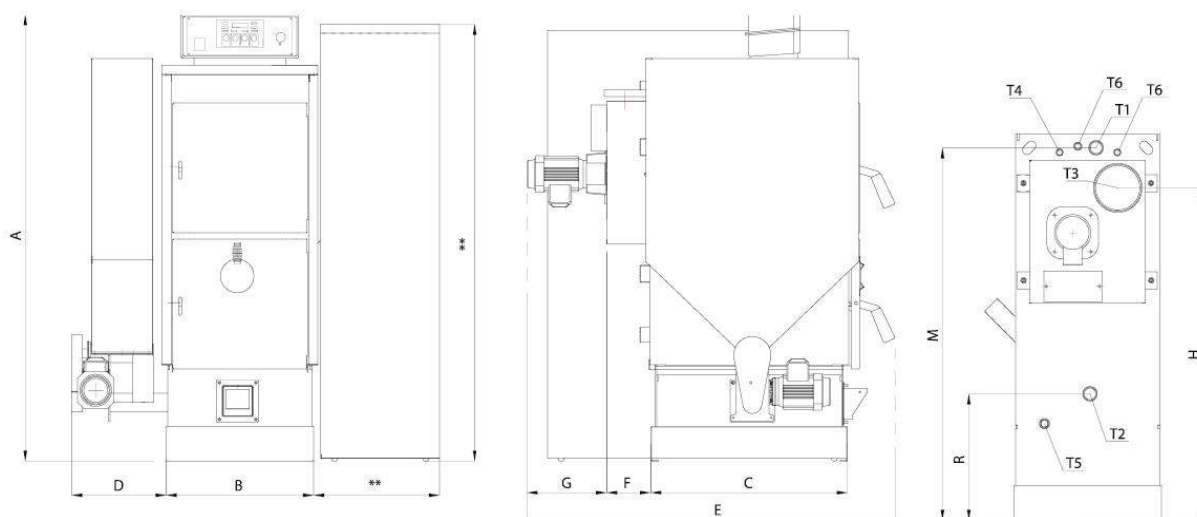


Tabla 13. Dimensiones de la caldera Biosan Serie PLC 75 kW

Dimensión (mm)	A	B	C	D	E	F	G	H	M	R
PLC 75 kW	1.470	510	700	300	1.200	160	250	1070	1220	325

Tabla 14. Datos técnicos de caldera Biosan Serie PLC 75 kW

Datos técnicos	Unidad de medida	KP 62
Potencia nominal	kW	65
Rango de potencia	kW	22-65
Consumo de combustible ³	kg/h	4,1-12,18
Rango de eficiencia	%	87-89,7
Presión máxima	bar	3
Volumen a calentar	m ³	1.705
Peso	Kg	487
Voltaje de conexión	230V AC±10% / 50Hz±2Hz	

Por otro lado, el precio de adquisición de la caldera es de 6.590€, con IVA y transportes ya incluidos.

³ Se ha calculado para consumo de pellets, en otro combustible habría que corregir por densidad y humedad.

4.3.3. Inmecal

Inmecal es otro fabricante a tener en cuenta, ya que ofrece también productos de las características buscadas, y además tiene su sede más cercana al punto de instalación de la caldera, con lo que los gastos de transporte serán menores a otros fabricantes. En este caso se ha elegido una caldera de su gama de productos domésticos que tiene una potencia nominal de 50 kW aproximadamente y que puede emplearse tanto para pellet, como hueso de aceituna o cáscaras de almendra.

La caldera elegida es el modelo Dinamic con una potencia de 50 kW y entre las principales características se pueden citar que es una caldera automática, tiene un sistema de intercambio pirotubular vertical, el encendido es automático y programable, su sistema es de tiro forzado, tiene limpieza automática, cajón externo de retirada de cenizas y pantalla de control LCD multifunción. Sus dimensiones y sus características técnicas se observan en las siguientes tablas y figuras [14]:

Figura 20. Esquema de la caldera Inmecal modelo Dinamic 50

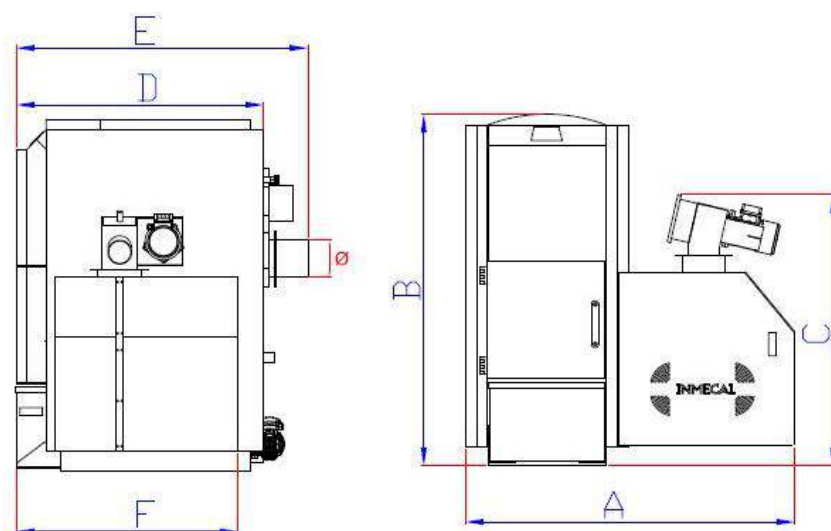


Tabla 15. Dimensiones de la caldera Inmecal modelo Dinamic 50

Dimensión (mm)	A	B	C	D	E	F	Ø
Dinamic 50 kW	1.430	1.395	1.030	1.000	1.195	850	165

En la Tabla 16 se presentan todas las características técnicas de la caldera referidas a su funcionamiento con hueso de aceituna. Para obtenerlas en base a otro combustible solo bastaría hacer la conversión con los valores de la densidad y humedad de cada uno de ellos.

Tabla 16. Datos técnicos de la caldera Inmecal modelo Dinamic 50

Datos técnicos	Unidad de medida	KP 62
Potencia nominal	kW	54,9
Rendimiento efectivo	kW	90,2
Presión de trabajo	Bar	2,2
Presión máxima de trabajo	Bar	3
Rango de temperaturas de trabajo	°C	50-90
Capacidad agua de caldera	L	150
Depresión mínima requerida	Pa	10
Peso	Kg	570
Consumo eléctrico encendido	W	555
Consumo eléctrico P. nominal/reposo	W	205/6
Voltaje de conexión	230V AC±10% / 50Hz±2Hz	
Concentración CO medido al 10% oxígeno	mg/Nm ³	282/647
Nivel sonoro	DB	18
Potencias de modulación	RC	5
Rango de modulación	kW	15/50
Salida de humos	mm	175

El precio de adquisición de esta caldera es de 8.990 €, con IVA incluido, pero sin incluir el transporte.

4.3.4. Comparación de calderas

Una vez establecidas distintas alternativas para la caldera se pueden comparar entre ellas para poder así elegir la opción más idónea. Se van a comprar los tres modelos de calderas elegidos con distintos combustibles. Para ello se van a usar los precios de combustibles proporcionados por Olihueso S.L., que son los siguientes [15]:

Tabla 17. Precios de los biocombustibles según Olihueso S.L. [15]

Producto	Presentación	Precio (€/kg)
Hueso de aceituna tratado	Saco 20 kg	0,179
	Big Bag	0,161
	A granel	0,152
Hueso de aceituna no tratado	A granel	0,092
Hueso de aceituna del orujillo tratado	A granel	0,146
Hueso de aceituna del orujillo en bruto	A granel	0,0762
Orujillo	A granel	0,069
Cáscara de almendra	A granel	0,081
Piel de aceituna	A granel	0,0726

Además del coste de los combustibles, habrá que tener en cuenta los gastos de envío que cobrará la compañía por llevar el combustible hasta el punto de utilización.

A partir de estos datos se va a calcular el coste de inversión y el gasto anual con cada caldera para los distintos combustibles, pero se hará de forma simple, ya que simplemente es una forma de comparar cada una de las calderas. Para ello se va a calcular el precio de inversión inicial, considerándose éste solo como el coste de adquisición de la caldera y el gasto inicial de combustible, con una autonomía de un año (se va a suponer que los gastos de montaje y desplazamiento serán los mismos para las tres calderas, y de modo comparativo se puede despreciar).

Tabla 18. Inversión inicial simplificada de cada caldera

	Caldera 1	Caldera 2	Caldera 3
Precio inicial del equipo (€)	9.890,00	5.825,00	11.500,00
Cantidad anual de combustible (Hueso aceituna) (kg/año)	119.169,69	110.800,52	115.985,77
Cantidad anual de combustible (Cáscara almendras) (kg/año)	82.977,42	77.149,99	80.760,46
Precio de hueso (€/kg)	0,092	0,092	0,092
Precio almendra (€/kg)	0,081	0,081	0,081
Coste anual de combustible (Hueso aceituna) (€)	10.963,61	10.193,65	10.670,69
Coste anual de combustible (Cáscara almendra) (€)	6.721,17	6.249,15	6.541,60
Inversión inicial (Hueso) (€)	20.853,61	16.018,65	22.170,69
Inversión inicial (Cáscaras) (€)	16.611,17	12.074,15	18.041,60

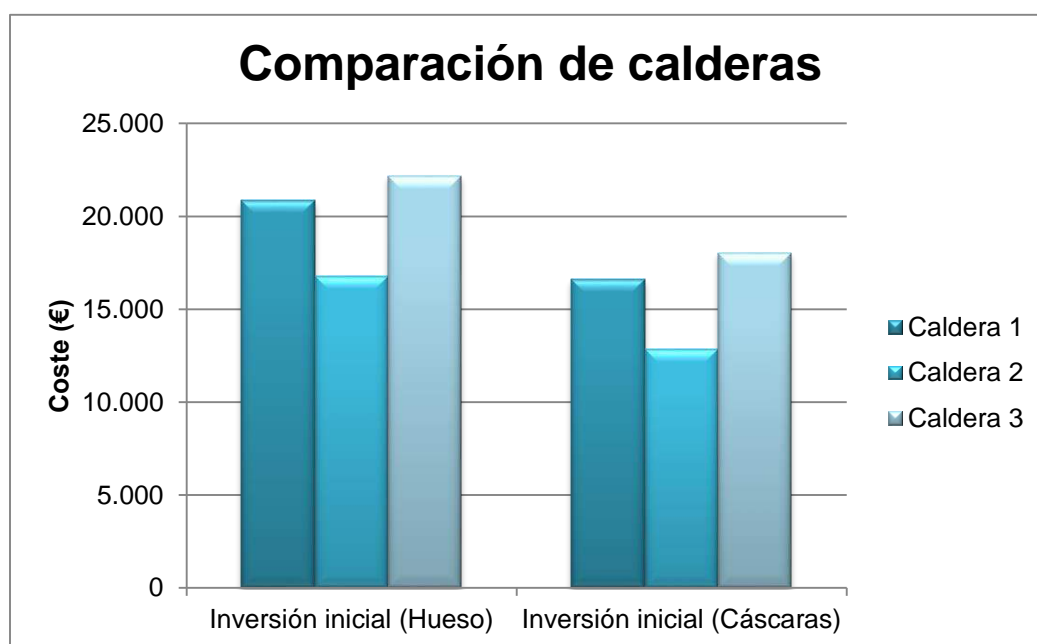


Figura 21. Comparación de calderas para distintos combustibles

Observando tanto la Figura 21 como la Tabla 18 se puede observar claramente que la caldera 2 (Grupo Biosan) es la que menos coste requiere, pues su precio de adquisición es menor. Sin embargo, sería más económico utilizar la caldera 3 (Inmecal) con cáscaras de almendra que usar la número 2 con hueso de aceituna. Por ello se debe llevar un estudio más detallado para la elección tanto de la caldera como del combustible.

4.4. Caldera de biomasa

Una vez revisadas varias opciones de calderas de biomasa policombustible, y consultando las condiciones de los distribuidores, se llega a la conclusión de que la mejor opción a elegir es la caldera que oferta Biocalora. Dicho equipo es el modelo KP Serie 2 62, la cual se puede observar en la Figura 22. En la Figura 23 se muestran las dimensiones de la caldera, y en la Tabla 19 sus principales características técnicas [12].



Figura 22. Caldera Biocalora KP Serie 2 62

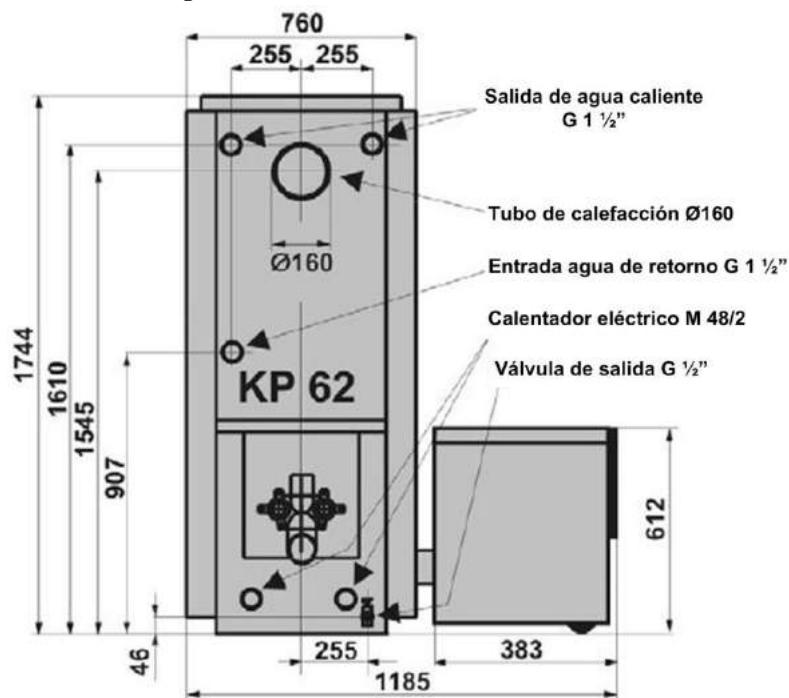


Figura 23. Esquema caldera Biocalora Serie 2 KP 62 [12]

Tabla 19. Datos técnicos de caldera Biocalora Serie 2 KP 62 [12]

Datos técnicos	Unidad de medida	KP 62
Potencia nominal	kW	61
Rango de potencia	kW	18,3-61
Consumo de combustible ⁴	kg/h	4,39-13,1
Rango de eficiencia	%	91,2-89,6
Temperatura de los gases de combustión	°C	140
Tiro natural necesario chimenea	mbar	0,3-0,4
Temperatura de impulsión	°C	55-80
Peso	kg	590
Consumo eléctrico	W	340
Voltaje de conexión	230V AC±10% / 50Hz±2Hz	
Emisiones partículas	mg/m ³	31
CO	mg/m ³	137
NO _x	mg/m ³	173

Además de los requisitos de la caldera que han favorecido a la elección de la misma, el fabricante también pone a disposición un equipo de transporte, y deja a la elección del cliente si la instalación la hace un instalador de la compañía o un instalador ajeno a la misma.

4.4.1. Ventajas del modelo KP Serie 2 62

Los fabricantes de Biocalora garantizan que todas sus calderas de la serie KP tienen las siguientes ventajas [23]:

- ◆ Eficiencia energética certificada del 92%.
- ◆ Funcionamiento automático.
- ◆ Regulación de temperatura automática, con modulación de potencia.
- ◆ Equipo de alta calidad, muy compacto que incluye los últimos avances tecnológicos.
- ◆ Fácil y rápida instalación y mínimo mantenimiento.
- ◆ Servicio Técnico altamente cualificado y presente en toda España.
- ◆ Muy larga vida útil de su equipo: del orden de 20 a 30 años.
- ◆ Existencia de un solo interlocutor que tratará el proyecto, un Responsable Técnico de Zona (RTZ). Éste hará las recomendaciones pertinentes en cuanto a la configuración y la instalación más apropiada teniendo en cuenta las necesidades del cliente.
- ◆ El usuario solo tiene que ajustar el termostato de la vivienda a la temperatura que desee y asegurarse de que haya combustible en la caldera. La caldera se apagará y encenderá automáticamente en función de la demanda.

⁴ Se ha calculado para consumo de pellets, en otro combustible habría que corregir por densidad y humedad.

4.4.2. Mantenimiento requerido

Este tipo de calderas son automáticas para facilitar el manejo por el usuario. Sin embargo, al quemar biomasa se produce ceniza. Parte de la ceniza cae directamente en el cenicero incorporado en la caldera. Las calderas de la serie KP incorporan un sistema de limpieza del intercambiador, según el modelo puede ser automático o semiautomático [23].

Debe vaciarse la ceniza acumulada en el cenicero antes de que el mismo esté lleno. Típicamente, durante los meses de más frío del año se debe vaciar una vez cada tres meses. La ceniza puede utilizarse como abono en el jardín.

Un combustible de mala calidad ensucia el quemador más de lo normal. Esto provoca paradas en las calderas que no dispongan de sistemas automáticos de limpieza.

Es recomendable la limpieza total del equipo por parte del servicio técnico autorizado una vez al año. Idealmente, durante los meses de calor. De paso le hará una supervisión para dejarla preparada para el próximo ciclo de trabajo [23].

4.4.3. Características de la caldera

Las principales características a resaltar de la caldera son las siguientes [23]:

- ◆ Caldera KP 62 con rango de potencia desde 18,3 kW hasta 61 kW.
- ◆ La caldera está equipada con encendido automático e intercambiador de calor automático.
- ◆ La caldera funciona de forma automática a partir de sensores de habitación, termostatos. No es necesario un control permanente, sino que solo habrá que comprobar ocasionalmente el nivel de combustible y la cantidad de cenizas almacenadas.
- ◆ El combustible utilizado para la caldera es pellet con un diámetro entre 6 y 8 mm Ø, pero también admite hueso de aceituna bien secos y cáscaras de algunos frutos secos como avellana, almendra o piñón.
- ◆ Las paredes de la caldera son de acero con un grosor entre 3 y 6,3 mm con quemador lineal a partir de una resistencia de acero inoxidable, partes cerámicas, revestimiento de la caldera con aislamiento térmico, unidad electrónica de control y sinfines de alimentación.
- ◆ Incluye componentes para asegurar un funcionamiento seguro.
- ◆ El control de operación automático es controlado a partir de la unidad IGNEO conectado a veces a los diferentes termostatos.
- ◆ La potencia aportada por la caldera tiene un rango entre un 30% - 100%.

Además de todo esto, al adquirir la caldera también se debe llevar a cabo la adquisición del sistema de alimentación de combustible y de una tolva que va incorporada en la caldera.

El sistema de alimentación a la caldera que se usa es un tornillo sinfín de 1.600 mm y 53 mm de diámetro que transporta el combustible desde un silo estacionario hasta el quemador.

Por otro lado, la tolva que lleva la caldera es de 700 L, con unas dimensiones de 750 x 1.000 x 1.525 mm.

Además, se le pueden añadir una serie de complementos a la caldera, como puede ser un set para módulo GSM que permite el control remoto de la caldera mediante SMS, un módulo básico con entradas y salidas digitales para conectar distintos dispositivos y que la caldera controle un circuito de calefacción o un depósito de inercia o un acumulador de Agua Caliente Sanitaria, o un pack de revisiones periódicas del equipo de biomasa para asegurar el máximo rendimiento posible. Se recomienda realizar al menos una visita de mantenimiento al año o como mínimo cada 3.000 horas de funcionamiento del equipo [23].

4.4.4. Partes y estructura de la caldera

El fabricante proporciona un manual completo en el que especifican todos los requisitos y pasos que hay que seguir para llevar a cabo el montaje de la caldera en la sala de máquinas, además de todos los detalles y componentes que posee el equipo. En la guía de montaje aparecen las instrucciones para el montaje, mantenimiento, además del diseño y los servicios que tiene el equipo. A continuación, se detallan los principales componentes que posee la caldera KP Serie S, que tiene un diseño similar a la KP Serie 2 [24].

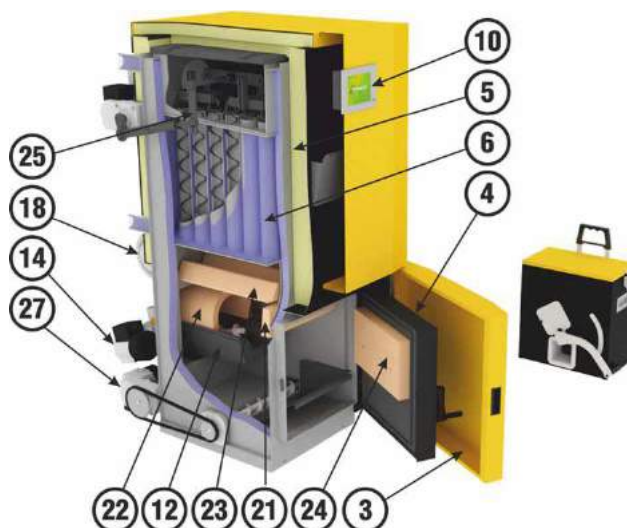


Figura 24. Estructura de la caldera (parte delantera)

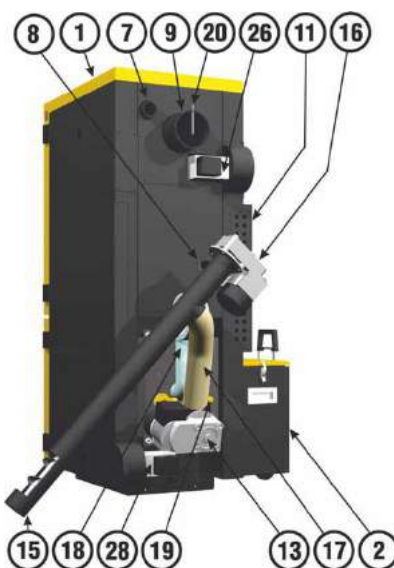


Figura 25. Estructura de la caldera (parte trasera)

Tabla 20. Elementos que forman la caldera [24]

Identificación	Elemento	Identificación	Elemento
1	Caldera	15	Tornillo alimentador F2
2	Cenicero	16	Motor con reductor de F1
3	Cubierta de la puerta de la caldera	17	Manguera de conexión
4	Puerta de la caldera	18	Ventilador – entrada del aire de combustión
5	Aislamiento	19	Hélice de ignición
6	Intercambiador de calor	20	Termómetro del tubo de gas
7	Salida de agua caliente	21	Placa cerámica
8	Entrada de agua	22	Deflector cerámico
9	Chimenea	23	Parrilla cerámica
10	Terminal de la unidad de control	24	Revestimiento cerámico de la puerta
11	Unidad de control	25	Mecanismo de limpieza
12	Quemador	26	Motor con caja de cambio – limpieza
13	Tornillo alimentador F1	27	Mecanismo de eliminación de cenizas
14	Motor con reductor de F2	28	Motor con caja de cambio – eliminación de cenizas

4.4.4.1. Cuerpo de la caldera

El cuerpo de la caldera está soldado con láminas de acero de gran calidad. La forma de la caldera está preparada para que los productos de combustión sean enfriados efectivamente en cualquier nivel de la salida, que es ayudado por un sistema de tabuladores de productos de combustión. La forma del intercambiador está diseñada haciendo posible la limpieza del conducto de gases de combustión de forma efectiva en el tiempo establecido. A continuación, se muestra esquemáticamente cada parte del cuerpo de la caldera [24].

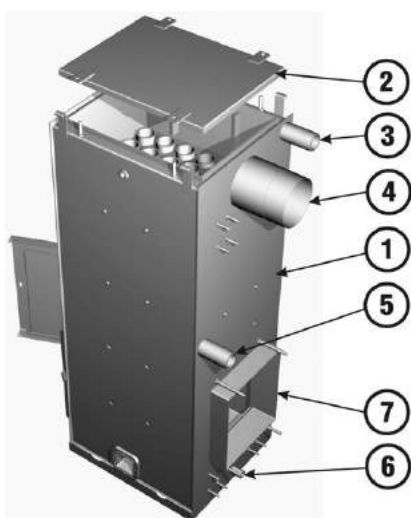


Figura 26. Estructura trasera del cuerpo de la caldera [48]

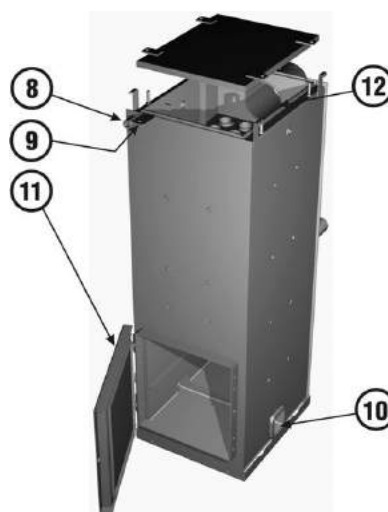


Figura 27. Estructura frontal del cuerpo de la caldera [48]

Tabla 21. Partes que forman el cuerpo de la caldera [48]

Identificación	Elemento	Identificación	Elemento
1	Soldadura de acero con el intercambiador	7	Apertura trasera para instalación de quemador
2	Tapa del cuerpo de la caldera	8	Hueco para el sensor y el termostato
3	Salida de agua de calefacción G 1 ½"	9	Termostato de emergencia
4	Salida de humos	10	Hueco para la instalación del sistema de retirada de cenizas
5	Entrada de agua de retorno G 1 ½"	11	Puerta de inspección
6	Tubo para instalación de válvula de entrada	12	Apertura superior para limpieza cubierta por la tapa del cuerpo

4.4.4.2. Quemador

El cuerpo del quemador está realizado todo por soldadura y con entrada de combustible inferior. El combustible es entregado por el tornillo sinfín F2 que es accionado por un motor eléctrico con reductor. Un conjunto de agujeros en la parrilla del quemador asegura la entrada del aire para facilitar la combustión controlada del combustible durante su estancia en la cámara de combustión. El combustible que ya se ha quemado es empujado posteriormente fuera del quemador hacia el cajón de cenizas [48].

El espacio interior del cuerpo del quemador está conectado a un ventilador de aire cuya potencia se puede regular según lo que requiera la caldera.

El reductor de los motores de los sinfines F1 y F2 están equipados con sensores de impulso que aseguran el funcionamiento seguro de la caldera.

El tubo de conexión al sinfín F1 está hecho de material inflamable y conecta el sinfín 1 con el 2. Forma parte de las líneas de transferencia del combustible y debe cumplir unas normas estrictas para su instalación. De estas normas se puede resaltar que no deben existir pliegues significativos, ya que bloquearía el movimiento suave de combustible y además se debe construir con una inclinación mínima de 50°. Las uniones de los extremos deben estar fijadas con abrazaderas.

El quemador se compone por los elementos que se pueden observar en la Figura 28:

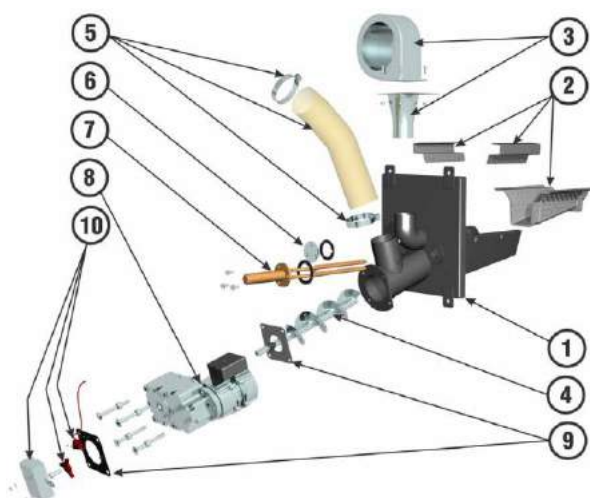


Figura 28. Quemador

Tabla 22. Partes del quemador [48]

Identificación	Elemento
1	Cuerpo del quemador
2	Parrilla de hierro fundido con rectificadores
3	Ventilador con piezas de transición
4	Tornillo sinfín
5	Manguera flexible con brazaderas
6	Sello de la pestaña de ignición
7	Espiral de ignición
8	Motor con reductor
9	Juntas
10	Sensor de rotación

4.4.4.3. Partes cerámicas

Las partes cerámicas de la caldera son piezas inseparables de la cámara de combustión y tienen gran influencia en la calidad del quemado. Existen varias piezas hechas de cerámica en toda la caldera [48]:

- ◆ Cerámica refractaria situada en la parte superior del quemador.
- ◆ Parrilla cerámica secundaria situada en el cuerpo de la caldera, encima de la cámara de combustión. En el caso del modelo KP2 62 está formada por 4 partes.
- ◆ Plato cerámico situado encima de la puerta.
- ◆ Revestimiento cerámico de la puerta, montado justo encima de la misma.

En las siguientes Figuras se representan cada una de las partes cerámicas que forman la caldera:



Figura 29. Deflector cerámico de dos partes [48]



Figura 30. Parrilla cerámica secundaria [48]



Figura 31. Placa cerámica [48]



Figura 32. Revestimiento cerámico de la puerta [48]

4.4.4.4. Alimentador F1 con accionamiento independiente

El tornillo sinfín F1 es el que transporta el combustible desde el depósito de la caldera hasta la cámara de combustión [48]. Está formado por un tornillo sinfín dosificador con un agujero orientado hacia abajo para la descarga con un manguito de conexión. Esta montado en el depósito de combustible con un ángulo que no puede ser mayor a 45° . Si dicho ángulo fuese mayor, el combustible sería alimentado de forma inexacta. Dicho tornillo tiene su propio motor que lo acciona eléctricamente y que es controlado por la unidad de control.

Los reductores que poseen ambos tornillos (F1 y F2) cuentan con sensores de impulso, que aseguran un comportamiento seguro de la caldera.

El tornillo sinfín F1 está formado por los siguientes componentes:

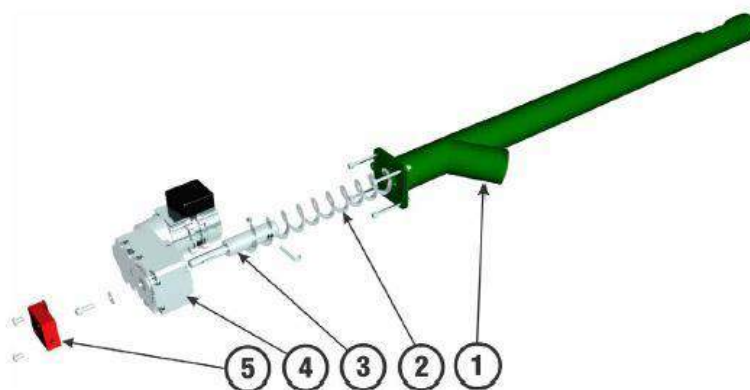


Figura 33. Transportador de combustible tornillo sinfín F1 [48]

Tabla 23. Partes del transportador sinfín F1 [48]

Identificación	Elemento
1	Cuerpo sinfín con brida
2	Espiral sin eje de 56 mm de diámetro
3	Pequeña barra para montaje de espiral
4	Motor y reductor
5	Sensor revoluciones de impulso

4.4.4.5. Revestimiento de la caldera y aislamiento térmico

El revestimiento de la caldera está fabricado con chapa de acero. La pintura que lo cubre es duradera y está aplicada con la tecnología de aplicación en polvo (KOMAXIT), que es muy resistente a las condiciones exteriores y garantiza una apariencia perfecta de larga duración de la caldera. El aislamiento térmico de 2 o 8 cm de grosor está hecho con tablas de aislamiento térmico ROCKWOL [48]. A continuación, se muestran en la Tabla 25 y la Figura 34 los componentes del revestimiento:

Tabla 24. Partes que forman el revestimiento de la caldera [48]

Identificación	Elemento
1	Cubierta de la puerta
2	Puerta con el terminal de control
3	Cubierta del aislamiento del intercambiador
4	Cubierta de la puerta de la cámara de combustión
5	Revestimiento trasero
6	Revestimiento lateral izquierdo
7	Revestimiento lateral derecho
8	Cubierta superior del intercambiador

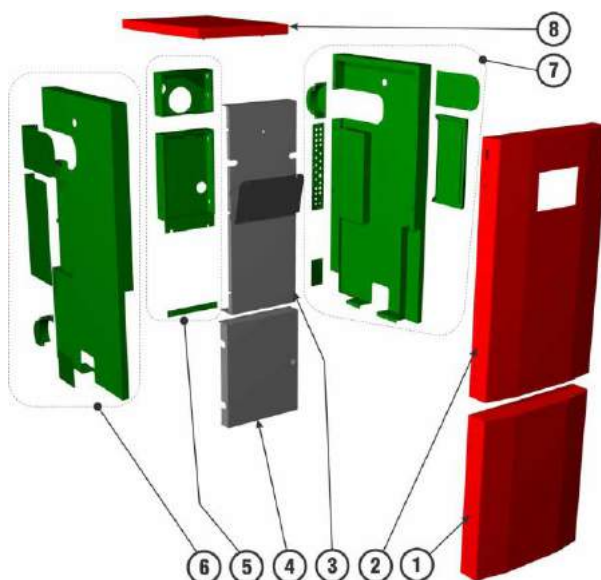


Figura 34. Revestimiento KP 2 62 [24]

4.4.4.6. Sistema de limpieza

El sistema de limpieza automático de la caldera afecta directamente al tiempo que dura una parada de mantenimiento. Este sistema de limpieza tiene elementos mecánicos para la retirada de las cenizas y para la limpieza del intercambiador de calor, además de un contenedor donde se irán depositando las cenizas [48].

→ Eliminación de cenizas

La eliminación de cenizas se lleva a cabo mediante la ejecución de un conjunto mecánico programado que garantiza la retirada de cenizas y las deposita en un receptor externo en intervalos regulares de tiempo. La ceniza se saca gracias a un transportador tipo tornillo sinfín que es accionado por medio de un motor eléctrico a través de una cadena de transmisión. El motor es accionado por medio del sistema de control.

El sistema de eliminación de cenizas se puede montar tanto en el lado derecho como en el izquierdo de la caldera. El montaje en uno de los lados se encarga al realizar el pedido.

En la siguiente figura se observa cada elemento y la estructura que posee el sistema de eliminación de cenizas:

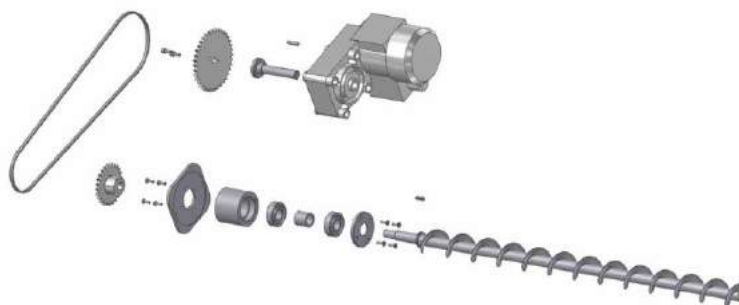


Figura 35. Sistema de eliminación de cenizas [48]

→ Limpieza del intercambiador de calor

La limpieza del intercambiador de calor corre a cargo de un sistema mecánico que está programado y que asegura la eliminación de los residuos sólidos de los tubos del intercambiador de la caldera en intervalos de tiempo regulares. La limpieza es llevada a cabo con movimientos lineales de los turbuladores en los tubos del intercambiador. Se realiza a través de un motor eléctrico que transfiere el movimiento por medio de una palanca de transferencia de movimiento. El motor es accionado por medio del sistema de control [48].

El sistema de limpieza del intercambiador también se puede montar también tanto en el lado derecho como en el izquierdo y se elige en el momento en que se realiza el encargo de la caldera. Además, el servicio técnico de Biocalora puede hacer un cambio del mismo en cualquier momento.

En la siguiente figura se muestra el sistema de limpieza del intercambiador de calor:

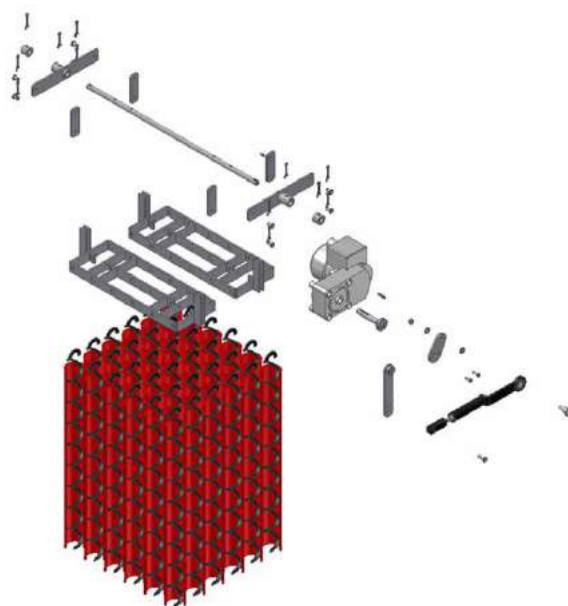


Figura 36. Sistema de limpieza del intercambiador de calor [48]

→ Contenedor de cenizas externo

El recipiente externo destinado a la recogida de cenizas proporciona espacio suficiente para trabajar sin vaciarlo durante bastante tiempo [48]. Permite un largo tiempo de servicio sin necesidad de mantenimiento incluso cuando se utiliza un combustible con bastante contenido en cenizas. Se inserta en la caldera por medio de una palanca de retención, la cual debe estar en la posición más baja durante el funcionamiento de la caldera y el conducto de conexión entre la caldera y el receptor de cenizas debe estar bien apretado. La tapa del receptor también debe estar bien cerrada para evitar la salida de los humos de quemado a la sala de la caldera.

El contenedor se quita moviendo la palanca de retención a la posición superior y tirando hacia fuera de la caldera. El vaciado del mismo se recomienda que se lleve a cabo por dos personas debido al peso del contenedor.

En la Figura 37 se muestra el contenedor externo de cenizas:

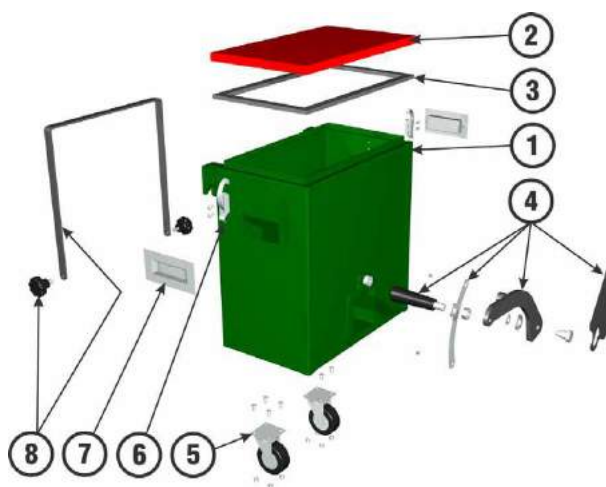


Figura 37. Contenedor extraíble para depositar las cenizas [48]

Tabla 25. Elementos del contenedor extraíble de cenizas [48]

Identificación	Elemento
1	Contenedor
2	Tapa
3	Junta
4	Mecanismo de apertura y cierre
5	Ruedas de transporte
6	Tapa de seguridad
7	Asas
8	Asa de manipulación extraíble con bloqueo

4.4.4.7. Accesorios

→ Accesorios estándar

La caldera posee una serie de complementos que suelen venir incluidos de fábrica [48]:

- ◆ Manual de operación y servicio de caldera KP.
- ◆ Certificado completo de calidad del producto - garantía certificada.
- ◆ Herramientas de limpieza (raspador manual para la limpieza de la cámara de combustión).
- ◆ Salida/entrada válvula ½”.
- ◆ Sensor de temperatura externa para regulación isoterma.
- ◆ Sensor de temperatura superficial – medición de la temperatura detrás de la válvula mezcladora.
- ◆ Sensor de temperatura superficial – medición de la temperatura del agua de retorno.

→ Accesorios opcionales

Por otra parte, hay una serie de accesorios que se pueden instalar a petición del cliente [48]:

- ◆ Almacenamiento de combustible.
- ◆ Bomba de circulación.
- ◆ Válvula de tres vías con un servomotor.
- ◆ Ventilador de tiro inducido.
- ◆ Termostato digital de la sala.
- ◆ Tanque de agua caliente para calefacción (80 – 350 L)
- ◆ Depósito de inercia.
- ◆ Depósito de almacenamiento de combustible estacional de gran volumen.
- ◆ Sinfín desde el depósito estacional.
- ◆ Sinfín neumático del depósito estacional.
- ◆ Control automático de otros tres circuitos de calefacción.
- ◆ Modem GSM para control remoto y monitorización del funcionamiento de la caldera.
- ◆ Módulo para la conexión de la caldera a la red de comunicación Ethernet (Internet).
- ◆ Sensor superficial de temperatura.
- ◆ Módulos compactos hidráulicos REGPON.

4.4.4.8. Tolva

El depósito está suministrado como accesorio opcional [48]. Se puede llenar hasta el volumen total sin limitaciones. El rellenado de los depósitos suministrados por el fabricante es seguro, por lo que la

construcción del depósito asegura una distancia segura del operador a las partes móviles. Durante el funcionamiento automático de la caldera la cubierta del depósito debe estar cerrada.

Se tienen tolvas de distintos tamaños, pero en el caso del modelo KP 2 62 es una tolva de 700 L con unas dimensiones de 750x1000x1520 mm.

Aquellos depósitos que superan los 400 L es recomendado usar un transportador neumático y para calderas con una potencia superior a 50 kW.



Figura 38. Depósito estándar de combustible de 700 L [48]

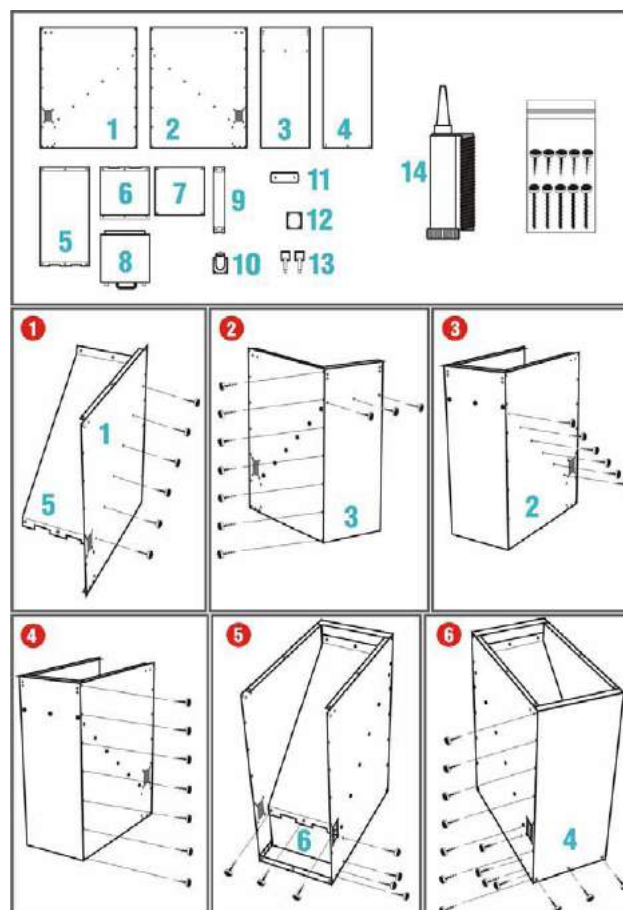


Figura 39. Manual de montaje del depósito de combustible [48]

4.5. Sala de Calderas

Una sala de caldera es un espacio en el que se localizan los equipos térmicos y sus auxiliares, cuando la suma de todas las potencias sea mayor a 70 kW. También se consideran parte de la sala todos los locales a los que se acceda a partir de la misma. No se consideran sala de calderas los locales en los que se sitúan generadores de calor con una potencia menor a 70 kW, o los equipos modulares de climatización de cualquier potencia que han sido diseñados para su instalación en el exterior [22].

En este caso la potencia total de la instalación es menor a 70 kW, pero teniendo en cuenta que en el edificio no hay ningún espacio disponible para albergar la caldera, se va a llevar a cabo una construcción adyacente a la vivienda. Esto es posible porque previamente no había ningún edificio limitando con éste. Como la construcción se va a hacer para el uso específico de sala de calderas, se van a tener en cuenta las especificaciones requeridas para una sala que sí supera los 70 kW de potencia máxima, de tal forma que, si en el futuro hay una ampliación del sistema térmico, la instalación cumpla los requisitos que se exigen. Asimismo, se tendrán en cuenta las dimensiones de la caldera para la que se va a diseñar.

4.5.1. Características de la sala de máquinas

Las salas de máquinas deben cumplir una serie de requisitos marcadas por el RITE, así como los requisitos que marca el Código Técnico de la Edificación. Se pueden citar las siguientes prescripciones [5, 6]:

- ◆ No se debe acceder normalmente al recinto a través de una abertura en el suelo o el techo.
- ◆ Las puertas deben tener una permeabilidad menor a $1 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ bajo una presión diferencial de 100 Pa, excepto cuando estén en contacto directo con el exterior.
- ◆ La puerta de acceso debe tener unas dimensiones tales que permitan la entrada y salida de cualquiera de los equipos que hay dentro de la sala en caso de que se deban llevar labores de mantenimiento en el exterior.
- ◆ Las puertas deben tener una cerradura tal que permita la apertura desde el interior, aunque se haya cerrado con llave desde el interior.
- ◆ La puerta de acceso debe abrir siempre hacia fuera.
- ◆ En el exterior de la puerta debe haber un cartel con la inscripción “Sala de máquinas. Prohibida la entrada a toda persona ajena al recinto”.
- ◆ No se permitirá ninguna toma de ventilación que comunique con otros locales cerrados.
- ◆ Los cerramientos de la sala no deben permitir filtraciones de humedad.
- ◆ La sala debe disponer de un sistema de desagüe por gravedad, y en caso de ser necesario, por bombeo.
- ◆ El cuadro eléctrico de protección y mando de los equipos que hay en la sala deberá estar situado próximo a la puerta de acceso. Este interruptor no podrá cortar la alimentación del sistema de ventilación de la sala. En caso de existir ventilación forzada, su interruptor también se situará cerca de la puerta principal de acceso.
- ◆ El nivel de iluminación de la sala debe ser suficiente para realizar las labores de conducción e inspección, con un mínimo de 200 lux, con una uniformidad de 0,5, que podrá reforzarse con elementos portátiles para acceder a elementos escondidos.
- ◆ La sala no se podrá usar para otros trabajos o destinarse a unos fines distintos.
- ◆ Los motores y transmisiones deben estar protegidos de forma adecuada para prevenir accidentes del personal.

- ◆ Entre la maquinaria y los elementos que delimitan la sala de máquinas deben dejarse pasos y accesos libres para poder mover los equipos o alguna de sus partes desde el interior al exterior o viceversa.
- ◆ La conexión entre generadores de calor y chimeneas debe ser perfectamente accesible.
- ◆ En el interior de la sala debe haber de forma visible los siguientes elementos:
 - Instrucciones para realizar una parada en caso de que se requiera con señal de alarma de urgencia y dispositivo de corte rápido.
 - Los datos de contacto de la persona o entidad encargada del mantenimiento de la instalación.
 - Los datos de contacto del servicio de bombeo más próximo y del responsable del edificio.
 - Indicación de los puestos de extinción y extintores cercanos.
 - Plano con esquema de la instalación.
- ◆ Las clases de resistencia hacia el fuego de los elementos delimitadores serán EI 180⁵ para las particiones y REI 180⁶ para los elementos constructivos portantes.
- ◆ Las clases de resistencia al fuego serán A1⁷ para los acabados de paredes y techos y A1-S1⁸, d0⁹ para los suelos [7].
- ◆ Cada salida de la sala estará señalizada por medio de un aparato autónomo de emergencia.
- ◆ Cuando la sala sea adyacente a un local ocupado, la atenuación acústica del elemento de separación será como mínimo de 50 dB en la banda de octava de frecuencia central 125 Hz.

4.5.2. Dimensiones de la sala de máquinas

En primer lugar, se van a describir las normas generales en cuanto a dimensiones que debe cumplir una sala de calderas. Una vez definidas las principales características se va a hacer una particularización para la caldera que se va a emplear en este caso. Por tanto, los principales requisitos que son de obligado cumplimiento son los siguientes [5]:

- ◆ Las instalaciones térmicas deberán ser perfectamente accesibles en todas sus partes de forma que puedan realizarse adecuadamente y sin peligro todas las operaciones de mantenimiento, vigilancia y conducción.
- ◆ La sala debe tener una altura mínima de 2,5 m, respetándose una altura libre de tuberías y obstáculos sobre la caldera de 0,5 m.
- ◆ Ningún punto de la sala estará a más de 15 m de la salida [6].
- ◆ Los espacios mínimos que deben dejarse libre alrededor de la caldera, para el caso de cámaras de combustión abierta y tiro natural [5]:
 - En el frente de la caldera debe haber como mínimo 1 m libre, con una altura mínima de 2 m.
 - Entre calderas, así como las calderas extremas y los muros laterales y de fondo, debe existir un espacio libre de al menos 50 cm, aunque se recomienda que no sea menor de 80 cm para facilitar el mantenimiento. Esta distancia podrá disminuirse en los modelos en que el mantenimiento de las calderas y su aislamiento térmico lo permita.

⁵ EI 180: conserva su integridad (E) y su aislamiento (I) durante 180 minutos [8].

⁶ REI 180: conserva su resistencia mecánica (R), su integridad (E) y su aislamiento (I) durante 180 minutos [8].

⁷ Productos no combustibles sin contribución al fuego en grado máximo [8].

⁸ S1 indica que los productos tienen baja cantidad y velocidad de emisión de humos [8].

⁹ d0 indica que la caída de gotas o partículas inflamadas es nula [8].

- Cuando las calderas a instalar sean del tipo mural y/o modular formando una batería de calderas o cuando las paredes laterales de las calderas a instalar no precisen acceso, puede reducirse la distancia entre ellas, teniendo en cuenta el espacio preciso para poder efectuar las operaciones de desmontaje de la envolvente y del mantenimiento de las mismas.
- Con calderas de combustibles sólidos, la distancia entre la misma y la chimenea será igual, como mínimo al tamaño de la caldera.
- Las calderas de combustibles sólidos en las que sea necesaria la accesibilidad al hogar tendrán un espacio libre frontal igual, por lo menos, a una vez y media la profundidad de la caldera.
- Las calderas de biocombustibles sólidos en las que la retirada de cenizas sea manual, tendrán un espacio libre frontal igual, por lo menos, a una vez y media la profundidad de la caldera.

En la Figura 40 se pueden observar las dimensiones mínimas que deben tener los espacios libres que quedarán en la sala de calderas.

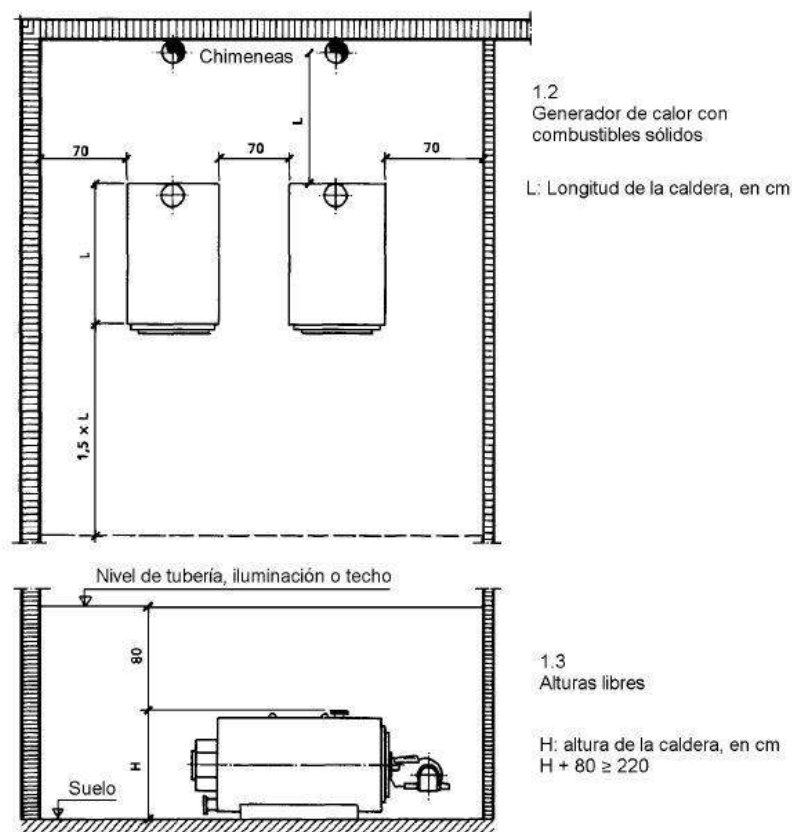


Figura 40. Espacios libres mínimos en la sala de calderas [6]

4.5.3. Ventilación de la sala de calderas

Toda sala de máquinas cerrada debe disponer de medios suficientes de ventilación. El sistema de ventilación podrá ser del tipo natural directa por orificios o conductos, o forzada. La forma más recomendable será para mayor garantía de funcionamiento, el sistema de ventilación directa por orificios.

En cualquier caso, se intentará lograr, siempre que sea posible, una ventilación cruzada, colocando las aberturas sobre paredes opuestas de la sala y en las cercanías del techo y del suelo.

Los orificios de ventilación, tanto directa como forzada, distarán al menos 50 cm de cualquier hueco practicable o rejillas de ventilación de otros locales distintos de la sala de máquinas. Las aberturas estarán protegidas para evitar la entrada de cuerpos extraños y que no puedan ser obstruidos o inundados [5].

4.5.3.1. Ventilación directa por orificios

La ventilación natural directa al exterior puede realizarse, para las salas contiguas a zonas al aire libre, mediante aberturas de área libre mínima de $5 \text{ cm}^2/\text{kW}$ de potencia térmica nominal. Se recomienda practicar más de una abertura y colocarlas en diferentes fachadas y a distintas alturas, de manera que se creen corrientes de aire que favorezcan el barrido de la sala [5].

Sin embargo, el fabricante de la caldera elegida recomienda que se cree un orificio al nivel del suelo por el que pueda entrar el aire requerido para la combustión con unas dimensiones de $10 \text{ cm}^2/\text{kW}$, siendo 20 cm^2 el mínimo del orificio. Por tanto, éste será el dato que se va a elegir [48].

4.5.3.2. Ventilación natural directa por conducto

Este tipo de ventilación se emplea cuando la sala no es contigua a zona al aire libre, pero puede comunicarse con ésta por medio de conductos de menos de 10 m de recorrido horizontal. La sección libre mínima de éstos, referida a la potencia térmica nominal instalada, será de $7,5 \text{ cm}^2/\text{kW}$ para conductos verticales y de $10 \text{ cm}^2/\text{kW}$ para conductos horizontales.

Las secciones indicadas se dividirán en dos aberturas, por lo menos, una situada cerca del techo y otra cerca del suelo y, a ser posible, sobre paredes opuestas [5].

4.5.3.3. Ventilación forzada

En la ventilación se dispondrá de un ventilador de impulsión soplando en la parte inferior de la sala que asegure un caudal mínimo en m^3/h de $1,8 \cdot \text{PN} + 10 \cdot \text{A}$, siendo PN la potencia térmica nominal instalada, en kW y A la superficie de la sala en m^2 .

El ventilador estará enclavado eléctricamente con los quemadores, de manera que entre en funcionamiento cuando al menos uno de los quemadores funcione y pare cuando todos los quemadores estén parados.

Para disminuir la presurización de la sala con respecto a los locales contiguos, se dispondrá de un conducto de evacuación del aire de exceso, situado a menos de 30 cm del techo y en lado opuesto de la ventilación inferior de manera que se garantice una ventilación cruzada, construido con material incombustible y dimensionado de manera que la sobrepresión no sea mayor que 20 Pa. Las dimensiones mínimas de dicho conducto serán $10 \cdot \text{A}$ (cm^2), siendo A la superficie en m^2 de la sala de máquinas, con un mínimo de 250 cm^2 .

Para encender el sistema de ventilación lo primero que se deberá hacer será arrancar el ventilador y mediante un detector de flujo o un presostato se activará un relé temporizado que garantizará el funcionamiento del sistema de ventilación antes de dar la señal de encendido a la caldera. Por último, se deberá arrancar el generador de calor.

Para el apagado del sistema de ventilación habrá que parar el generador de calor y cuando todas las calderas de la sala estén paradas debe desactivarse el relé mencionado anteriormente y parar el ventilador [5].

4.5.4. Grados de protección

Todos los sistemas eléctricos y electrónicos que haya dentro de la sala de máquinas deben tener un grado de protección IP 44 como mínimo, o realizar la instalación dentro de una envolvente con ese grado de protección. Cuando todo el sistema eléctrico venga montado de fábrica sobre un equipo, su grado de protección responderá a las exigencias de la norma UNE que corresponda o, en su defecto, de las normas de construcción del fabricante.

Además, todos los motores situados en la sala deben tener al menos un grado de protección IP 23 [6].

4.5.5. Seguridad contra incendio en la sala de máquinas

Desde la perspectiva de la protección contra incendios, una sala de caldera es un local de riesgo especial y por ello debe cumplir una serie de normas que establece el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico de Seguridad en caso de Incendios.

Las salas de máquinas de instalaciones de climatización son zonas de riesgo bajo, por tanto, los requisitos a cumplir son los que se recogen en la Tabla 27:

Tabla 26. Condiciones de las zonas de riesgo especial [9]

Característica	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Resistencia al fuego de la estructura portante	R 90	R 120	R 180
Resistencia al fuego de las paredes y techos que separan la zona del resto del edificio	EI 90	EI 120	EI 180
Vestíbulo de independencia en cada comunicación de la zona con el resto del edificio	--	Sí	Sí
Puertas de comunicación con el resto del edificio	EI2 45 – C5	2·EI2 30 – C5	2·EI2 45 – C5
Máximo recorrido hasta alguna salida del local	≤25 m	≤25 m	≤25 m

El caso actual es una instalación de riesgo bajo, ya que la potencia es menor a 70 kW. Por ello, todas las partes de la sala deben cumplir los requisitos de protección contra incendios.

En una instalación contra incendios deben existir unas instalaciones generales, entre las que se encuentran los extintores portátiles, las bocas de incendio equipadas, los hidrantes exteriores, las instalaciones exteriores de extinción y los pulsadores de alarma [9]. Además de estos elementos, cada instalación tendrá algunos elementos más específicos. A continuación, se van a describir las principales características de cada elemento [18]:

- ◆ Extintores de incendio: se deben ajustar al *Reglamento de aparatos a presión*. Deben estar emplazados visibles y accesibles, próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de inicio de incendio, a ser posible próximos a las salidas de evacuación y sobre soportes fijados a paramentos verticales, de forma que la parte superior quede como máximo a 1,7 m del suelo.
- ◆ Bocas de incendio equipadas: estarán compuestas por una fuente de abastecimiento de agua, una red de tuberías para la alimentación del agua y las bocas de incendio equipadas necesarias. Deberán montarse en un soporte rígido de forma que la altura de su centro quede como máximo a 1,50 m sobre el nivel del suelo. Siempre que sea posible, se colocarán a una distancia de 5 m de las salidas de cada sector de incendio, sin que constituyan obstáculo para su utilización.

- ♦ Hidrantes exteriores: estarán compuestos por una fuente de abastecimiento de agua, una red de tuberías para agua de alimentación y los hidrantes exteriores necesarios. Pueden ser del tipo columna hidrante al exterior o hidrante en arqueta.
- ♦ Instalación automática de extinción: son sistemas que detectan automáticamente la existencia de fuego y provocan la descarga de agua para ayudar con la extinción del fuego.
- ♦ Pulsadores manuales de alarma: permiten provocar voluntariamente una señal de alerta de incendio. Se situarán de modo que la distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta alcanzar uno, no supere los 25 m.

4.5.6. Protección frente el ruido

En lo que se refiere a la calidad del ambiente acústico, el RITE hace referencia al *Documento Básico DB-HR Protección frente al ruido* del Código Técnico de la Edificación. No obstante, las calderas de biomasa cuentan con un sistema de reducción del ruido. Sin embargo, sí pueden presentar problemas de vibraciones que transmiten a la estructura del edificio los equipos que están en contacto con el suelo [22].

Los suministradores de los equipos y productos deben incluir en la documentación de los mismos los valores de las magnitudes que caracterizan los ruidos y las vibraciones procedentes de las instalaciones de los edificios [12]:

- ♦ el nivel de potencia acústica, L_w , de equipos que producen ruidos estacionarios;
- ♦ la rigidez dinámica, s' , y la carga máxima, m , de los lechos elásticos utilizados en las bancadas de inercia;
- ♦ el amortiguamiento, C , la transmisibilidad, τ , y la carga máxima, m , de los sistemas antivibratorios puntuales utilizados en el aislamiento de maquinaria y conductos;
- ♦ el coeficiente de absorción acústica, α , de los productos absorbentes utilizados en conductos de ventilación y aire acondicionado;
- ♦ la atenuación de conductos prefabricados, expresada como pérdida por inserción, D , y la atenuación total de los silenciadores que estén interpuestos en conductos, o empotrados en fachadas o en otros elementos constructivos.

Los principales generadores de ruido de la sala de calderas suelen ser los ventiladores y los elementos de transporte del material hasta la caldera.

Las calderas son elementos emisores de ruido estacionario, por lo que deben cumplir una serie de requisitos de montaje [12]:

- ♦ Los equipos se instalarán sobre soportes antivibratorios elásticos cuando se trate de equipos pequeños y compactos o sobre una bancada de inercia cuando el equipo no posea una base propia suficientemente rígida para resistir los esfuerzos causados por su función o se necesite la alineación de sus componentes.
- ♦ En el caso de equipos instalados sobre una bancada de inercia, tales como bombas de impulsión, la bancada será de hormigón o acero de tal forma que tenga la suficiente masa e inercia para evitar el paso de vibraciones al edificio. Entre la bancada y la estructura del edificio deben interponerse elementos antivibratorios.
- ♦ Se instalarán conectores flexibles a la entrada y a la salida de las tuberías de los equipos.
- ♦ En las chimeneas de las instalaciones térmicas que lleven incorporados dispositivos electromecánicos para la extracción de productos de combustión se utilizará silenciadores.

Otro elemento que hay que tener en cuenta en la producción de ruido es la velocidad de circulación del agua por las tuberías del sistema de calefacción y los radiadores. Dicha velocidad no debe ser mayor a 1 m/s, para poder tener un ambiente acústico adecuado [12].

Por otro lado, se deben emplear silenciadores en las rejillas de toma o expulsión de aire de una sala de máquinas. Nunca deben instalarse silenciadores en salidas de humos de calderas por el enorme riesgo de ensuciamiento. En cualquier caso, el material fonoabsorbente de un atenuador acústico, o silenciador, deberá estar recubierto de un material que, sin limitar las propiedades del material fonoabsorbente, sea capaz de protegerlo de la suciedad y permita la limpieza interior del silenciador [22].

Otra medida alternativa para reducir el nivel de ruido es adaptar la situación de la caldera y la chimenea en función de la distribución de las habitaciones de la vivienda. Así, se debe evitar situar el cuarto de calderas debajo de los dormitorios o que éstos sean atravesados por la chimenea. Además, las chimeneas de hormigón son más silenciosas que las de acero. En edificios de nueva construcción se puede también independizar el suelo del cuarto de calderas y del silo de las paredes mediante la inserción de rellenos elásticos entre el suelo y la pared, de forma que no haya conexiones de hormigón o acero entre ambos [22].

4.5.7. Emisiones

Los gases procedentes de la combustión deben cumplir los requisitos medioambientales de las autoridades que rijan en la zona, las cuales limitan los valores de las emisiones de contaminantes.

Existe una norma europea que establece los límites de emisiones en función de la potencia de la caldera:

Tabla 27. Límites de emisión en función de la potencia de la caldera [13]

Carga	Combustible	Potencia útil nominal (kW)	Límites de emisión								
			CO			OGC			Partículas (polvo)		
			mg/m³ a 10% O₂								
			Clase			Clase			Clase		
			3	4	5	3	4	5	3	4	5
Automática	Biogénico	≤50	3.000	1.000	500	100	30	20	150	60	40
		>50 ≤150	2.500			80					
		>150 <500	1.200			80					

Con clase se refiere al tipo de caldera según su eficiencia energética para calderas de potencia menor a 100kW. Las calderas de clase 3 son aquellas con una eficiencia comprendida entre 67 y 82%; las de clase 4 son las que tienen una eficiencia entre el 80 y el 84%; y las de clase 5 son las que su eficiencia está entre el 87 y el 89% [13].

4.5.8. Diseño de la sala de calderas

Para diseñar la sala de calderas que nos ocupa se deben seguir todas las normas y pautas que se han indicado anteriormente según la normativa oficial, pero además el fabricante también da una serie de pautas que conviene seguir.

Es muy importante que la cámara de combustión, la chimenea, y toda la instalación térmica y eléctrica mantengan los estándares aplicables y las condiciones legales. La caldera debe colocarse horizontalmente en material no inflamable, con una separación mínima de 10 cm encima de la

plataforma del equipo instalado. El suelo de delante de la puerta de limpieza debe ser de material no inflamable y como mínimo de 60 cm.

Las distancias mínimas determinan el espacio necesario para realizar la operación y mantenimiento del equipo. El diseño de la sala de calderas deberá ajustarse a las disposiciones generales que hay disponible para tales áreas. A continuación, se muestra un esquema de las dimensiones mínimas que debe tener la sala de calderas:

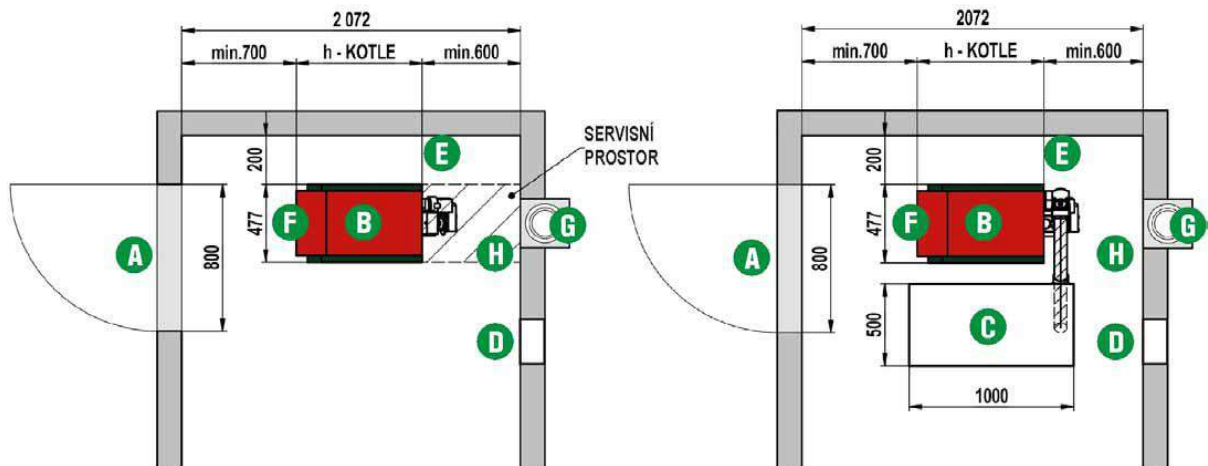


Figura 41. Colocación de los equipos en la sala de calderas [48]

Tabla 28. Elementos de la sala de calderas

Identificación	Elemento
A	Puerta de entrada
B	Caldera
C	Depósito de combustible
D	Entrada de aire de combustión
E	Conexión eléctrica
F	Puerta frontal de la caldera
G	Chimenea
H	Accesorios de la chimenea

La cota designada como h depende el modelo de la caldera y en este caso es de 1.198 mm [22].

En el lugar de la instalación se tienen que tener en cuenta una serie de aspectos [48]:

- La distancia desde la pared trasera debe ser al menos de 600 mm (medida desde el borde posterior de la carcasa).
- La distancia desde la pared lateral debe ser al menos de 200 mm.
- Por la parte delantera requiere una distancia libre de al menos 700 mm.
- La altura requerida sobre la caldera hasta el techo de la sala debe ser entre 450 y 600 mm (dependiendo de la altura de la caldera) para facilitar la limpieza.
- Es importante tener una zona de servicio por detrás de la caldera.

4.5.8.1. Distancia de seguridad desde el material combustible

En primer lugar, conviene describir los tipos de combustibles que existen [48]:

- ◆ Grado A: no combustibles (piedras, hormigón, ladrillos, yeso, etc.).
- ◆ Grado B: apenas combustible (aislamiento inorgánico – Rotoflex, lana de vidrio, aislamiento basalto, losas de lana de madera...).
- ◆ Grado C₁: baja combustión (formica, versalit, tableros de fibra, de madera de frondosas (haya, roble)).
- ◆ Grado C₂: moderada combustión (madera blanda (pino), aglomerado, caucho, revestimientos del suelo).
- ◆ Grado C₃: fácil combustión (asfalto, tela asfáltica, PVC, papel, etc.).

Distancia mínima de seguridad para descarga de materiales inflamables del tipo B, C₁ y C₂ es de 200 mm durante la instalación de la caldera, así como durante su funcionamiento. Esta distancia tiene que ser el doble - p.e. 400 mm para combustible de fácil combustión C₃.

En cuanto a la relación con la red eléctrica es necesario asegurarse de que la toma de corriente donde se conecta la caldera esté siempre accesible.

4.5.8.2. Depósito de combustible

El combustible tiene que estar en un lugar seco protegido contra los efectos atmosféricos porque la humedad los daña y agrava sus parámetros de quemado. Una humedad excesiva destruye completamente el material. Debe almacenarse en una habitación diferente de la caldera o a una distancia mínima de 1.500 mm de la caldera [48].

El stock principal de combustible debe almacenarse en un depósito central principal que tiene que estar hecho de material no combustible. Los depósitos suministrados por el fabricante cumplen con los requisitos de funcionamiento y seguridad. Se pueden rellenar sin límites y hasta su volumen total.

Los depósitos de gran tamaño tienen que cumplir con las regulaciones de fuego y seguridad. El suministrador está obligado a trabajar según las regulaciones de trabajo e instrucciones para funcionamiento y mantenimiento de depósitos de gran tamaño.

4.5.8.3. Ventilación de la sala de calderas

El suministro de aire de combustión debe proceder del exterior del edificio, por ello es necesario un sistema adecuado de ventilación. Las calderas pueden instalarse solas en una sala, donde haya 8 m³ por cada 10 kW de potencia del servicio.

Al nivel del suelo se debe crear un orificio con unas dimensiones de 10 cm² por cada kW de potencia de la caldera, siendo este de al menos 20 cm². El suministro de aire en la sala de calderas debe ser construido, si es posible, cerca del suelo para evitar el enfriamiento de la sala de máquinas.

En la sala no deberá haber bajo ningún concepto una presión menor a la requerida.

4.5.8.4. Resultado del diseño

Una vez establecidos todos los criterios y estándares que se requieren para dimensionar la sala de calderas, se ha llevado a cabo el diseño de la misma. Siempre se han tenido en cuenta las medidas más conservadoras posibles, para poder ir por el lado de la seguridad. Así, las dimensiones de la sala de caldera serían las siguientes:

- ◆ Dimensiones de la sala de calderas: 4,61x4,30x3 m.¹⁰
- ◆ Dimensiones de la caldera: 0,760x1,198x1,744 m.
- ◆ Distancia entre la caldera y la pared por la parte frontal de la misma: 1,5·L=1,8 m, siendo L el largo de la caldera.
- ◆ Distancia entre la parte trasera de la caldera y la chimenea: L=1,198 m.
- ◆ Distancia entre la parte lateral de la caldera y la pared: 0,8 m.
- ◆ Distancia entre la caldera y el posible depósito de combustible: 1,5 m.
- ◆ Dimensiones del depósito de combustible (en caso de que lo haya): 0,750x1,525x1,000 m.
- ◆ Anchura de la puerta de acceso: 1,0 m.
- ◆ Dimensiones de los orificios de ventilación: 0,0625 m² (0,25x0,25 m).
- ◆ Diámetro de la chimenea: 0,2 m.

También conviene indicar que los orificios de ventilación se han colocado a distintas alturas, uno a 0,75 m desde el suelo y otro 0,75 m desde el techo. Se ponen a distinta altura para proporcionar un flujo de aire continuo en la sala, y que además este sea cruzado.

Todas estas dimensiones y toda la estructura están reflejadas mejor en los planos que representan el alzado y la planta de la sala.

4.5.9. Obra civil de la sala de calderas y del silo de almacenamiento

Una vez completado todo el diseño de la sala de calderas, se puede proceder a la descripción de la obra civil que se llevará a cabo para su construcción. Como se comentó al inicio de la memoria, la vivienda cuenta con un espacio disponible al lado, con lo que solo será necesario adecuar el terreno para poder levantar la sala de calderas y el silo de almacenamiento, y llevar a cabo su construcción.

Antes de hacer las obras habrá que solicitar los permisos necesarios en el Ayuntamiento de la localidad.

4.5.9.1. Movimiento de tierras

Lo primero que es necesario llevar a cabo para poder empezar una construcción es llevar a cabo un movimiento de tierras para que el terreno se adecue a las condiciones deseadas. En este caso, hay una capa de asfalto que deberá ser destruida y limpiada. Todos los desechos o escombros que genere la limpieza se retirarán.

Una vez que la zona esté libre de materiales indeseados se puede proceder a vaciar el hueco que se requiere para hacer los cimientos. Se debe nivelar el suelo para que quede completamente horizontal.

Posteriormente, se procede a hacer un relleno para tapar los huecos e imperfecciones que se han dejado. El relleno consta de los cimientos, el núcleo y la coronación.

Además de llevar a cabo todos estos movimientos, habrá que hacer también una zanja desde la vivienda principal hasta la sala de calderas para conectar las tuberías que llevarán el agua desde la caldera hasta los radiadores.

Una vez llevadas a cabo todas estas acciones, se llevarán todos los desechos al vertedero o a un lugar adecuado para ser depositados.

¹⁰ Las medidas están siempre dadas en la forma Ancho x Largo x Alto.

4.5.9.2. Cimentaciones

Los cimientos de la sala de caldera son los elementos estructurales que transmiten las cargas de la edificación al terreno de sustentación.

Para hacer unos cimientos adecuados es importante que previamente se haga un reconocimiento del suelo. Una vez hecho, se procede a instalar las barras, en este caso de acero, y el hormigón necesario para crear la estructura de cimentación.

4.5.9.3. Saneamiento

La red de saneamiento puede ser vertical u horizontal. La red de saneamiento vertical está formada por los desagües de los aparatos, las bajantes fluviales, fecales y de aguas con grasas o jabonosas y la red de tuberías de ventilación. La red horizontal comprende las conducciones que recorren las aguas pluviales, negras o fecales, con grasa o jabonosas, para conducir las a la red general de alcantarillado.

4.5.9.4. Estructuras

Lo primero a realizar antes de levantar la estructura de la sala y del almacén, será hacer un encofrado para luego rellenarlo de hormigón y generar una losa de hormigón armado y crear la base de la estructura.

Por otra parte, las paredes se pueden realizar de ladrillos o se puede hacer de hormigón. En este caso se hará un encofrado para muro de hormigón y se rellenará con hormigón armado.

4.5.9.5. Cerramientos

Para cerrar la estructura tanto de la sala de calderas como del silo de almacenamiento, se instalará una cubierta inclinada. En primer lugar, habrá una capa formada por forjado de hormigón armado a dos aguas, con una pendiente del 30% (16,7°), que se cubrirá con una capa de tejas cerámicas de color rojo con forma curva [21]. Además, es necesario instalar aislamiento tanto térmico como impermeabilización. El aislamiento térmico que instalará con una capa de lana mineral del fabricante Rockwool de 65 mm de espesor. Para impermeabilizar la construcción se utilizará una lámina asfáltica, proporcionada por el Grupo Puma, Interespuma BM PY-4. Los catálogos y características de ambos sistemas de aislamiento se encontrarán en el Anexo correspondiente a los catálogos.

Por otro lado, las tejas se fijarán a la estructura sobre la lámina asfáltica con mortero directamente, aunque también existe la posibilidad de ser fijada con espuma de poliuretano.

En la cubierta también se instalará un encuentro de faldón con la chimenea, para impedir cualquier tipo de filtraciones por la unión de la misma con la cubierta.

4.5.9.6. Revestimientos

Una vez que la estructura se ha levantado correctamente, será necesario cubrirla de algún material que impida su deterioro al estar a la intemperie, y que además no permita el paso del agua o grandes pérdidas de calor.

En la fachada exterior se va aplicar un revestimiento elástico impermeable a base de polímeros acrílicos del distribuidor BASF. Una vez aplicado este revestimiento, se pintarán las paredes con una pintura plástica satinada proporcionada por el Grupo Puma, pero previamente se le aplicará una mano de fondo para eliminar las imperfecciones existentes en la pared.

En las paredes interiores se aplicará también una pintura plástica satinada, del mismo tipo que la que se usó en las paredes exteriores, también suministrada por el Grupo Puma.

4.5.9.7. Cerrajería y carpintería

Tanto en la sala de calderas como en el almacén de biocombustible se colocarán puertas para cerrar por completo el establecimiento. En el caso de la sala de calderas se instalará una puerta de madera cortafuegos de una hoja, ya que ésta debe cumplir unos requisitos mínimos de resistencia al fuego. En el caso del almacén se colocará una puerta del mismo tipo, pero por la parte interior se dispondrán una serie de tableros de madera para impedir fugas de polvo provenientes del biocombustible [22].

Por tanto, las puertas elegidas serán de madera, resistentes al fuego EI2 45-C5, con un acabado de fibras y de una hoja, con unas dimensiones de 82,5x203 cm.

Asimismo, en el almacén también se va a realizar una instalación de madera para crear el suelo inclinado con el que se ha diseñado. Dicha instalación tendrá la misma resistencia al fuego que la puerta, y se hará de acuerdo con las indicaciones que se dieron cuando se abarcó el diseño del silo de almacenamiento.

4.5.10. Instalación eléctrica en la sala de calderas

En la sala de calderas se va a llevar a cabo una instalación eléctrica de baja tensión, por tanto, se debe tener en cuenta en todo momento el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión [21]. Según dicho reglamento, la sala de calderas se puede clasificar como un local con riesgo de incendio o explosión, por lo que la instalación eléctrica se hará siguiendo las indicaciones recomendadas para este tipo de establecimientos.

El suministro que se requiere para la sala de calderas deberá ser de corriente alterna, trifásica, con una tensión de 230 V y una frecuencia de 50 Hz.

4.5.10.1. Clasificación del local

El local en el que se va a hacer la instalación se clasifica como sala de generación térmica y el combustible utilizado es biomasa sólida, por ello, según la Instrucción Técnica ITC-BT-29 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión se clasifica como Clase II, Zona 22, es decir, es un espacio en el que se pueden formar nubes de polvo inflamable, pero que en condiciones normales esto no debe suceder [19].

4.5.10.2. Potencia requerida

La potencia que se va a instalar depende de los aparatos y equipos que haya en la instalación. Para ello en la Tabla 30 se muestran cada uno de ellos y sus potencias.

Tabla 29. Potencia de cálculo del sistema eléctrico

Elemento	Potencia (W)
Caldera	61.000
Bombas	46
Control	1.050
Alumbrado	232
Tomacorrientes	2000
TOTAL	64.328

La potencia máxima admisible en el edificio viene definida por los conductores de la derivación individual y por el armario de protección y medida, con lo que teniendo en cuenta que la potencia de esta instalación es de unos 65 kW, se deberá hacer una instalación con una potencia máxima de 198 kW.

4.5.10.3. Instalaciones necesarias

El sistema eléctrico consta de un equipo de protección y medida, la derivación individual y la instalación interior, que incluye todas las canalizaciones, los tubos, los cables y el alumbrado.

El módulo de protección y medida se encontrará empotrado en la pared de la sala de calderas y en él se instalarán los fusibles de protección y el contador. Los equipos de medida deben estar situados entre 0,7 y 1,8 m de altura [19]. La caja de medida tiene que tener un grado de protección IP43 y serán precintables. Además, la envolvente debe disponer de ventilación para que no se formen condensados y el material transparente para la lectura debe ser resistente a los rayos ultravioletas. El modelo elegido es un cuadro de protección y medida (CPM) con un suministro trifásico mayor de 43,65 kW hasta 198 kW empotrable suministrado por CLAVED.

La derivación individual es la parte de la instalación que suministra energía eléctrica a una instalación de usuario partiendo de la línea general de alimentación. Consta de conductores aislados en el interior de tubos empotrados, en tubos enterrados, en tubos en montaje superficial y en el interior de canales protectoras cuya tapa solo se pueda abrir con algún útil, canalizaciones eléctricas prefabricadas y conductores aislados en conductos cerrados de obra de fábrica, proyectados y contruidos al efecto. Los tubos de una derivación individual deben tener un diámetro mínimo de 32 mm. La instalación se realizará con un tubo rígido de PVC que albergará en su interior cable de cobre unipolar no propagadores de la llama con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de termoplástico con baja emisión de humos y gases corrosivos.

La instalación interior consta de canalizaciones, tubos, conductores y luminarias. Las canalizaciones se harán con tubos rígidos por superficie, de PVC rígido y con un mínimo de 32 mm de diámetro del fabricante TUPERSA. Por el interior de las canalizaciones irán los cables eléctricos, que serán del tipo ES07Z1-K (AS) 750 V de cobre con aislamiento de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos, proporcionados por Prysmian. Por último, la iluminación de la sala de caldera y del almacén se hará por medio de pantallas estancas de metacrilato con 2 lámparas fluorescentes de 58 W respectivamente, de la marca Odel-lux.

Además de estos elementos, tanto la sala de calderas como el almacén deben contar con luces de emergencia que iluminen el lugar en caso de un corte en el suministro eléctrico.

4.5.10.4. Sistemas de protección

El circuito eléctrico debe estar protegido para evitar cualquier tipo de contacto tanto directo, como indirecto. Por ello, no habrá partes accesibles sin cubiertas o instaladas en el interior de cuadros o cajas.

En cuanto al contacto indirecto, se realizará una conexión a tierra para evitar contactos indirectos y que la tensión se limite con respecto a tierra en los objetos metálicos, y así poder evitar averías.

La puesta a tierra se realiza mediante una serie de electrodos enterrados en el suelo que se conecta al circuito. Con esto se consigue que en la instalación no haya diferencias de potencial peligrosas, y que al mismo tiempo se permita el paso a tierra de las corrientes de defecto o las de descarga de origen atmosférico [19].

En este caso se hará la puesta a tierra formada por picas y conductores enterrados que unen las cabezas de cada una de ellas, tal y como refleja la siguiente figura:

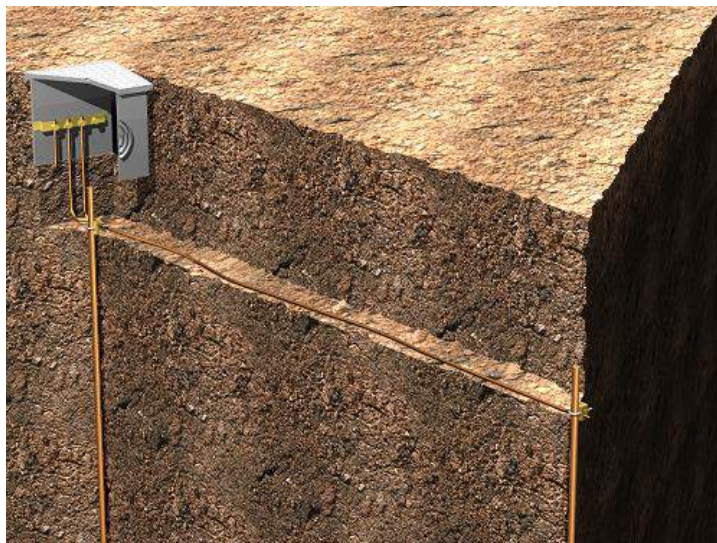


Figura 42. Puesta a tierra mediante picas y conductores [21]

4.5.11. Chimenea y tratamiento de humos

El sistema de gases de combustión debe ser diseñado y construido bajo las condiciones de operación de los servicios del combustible y bajo las condiciones meteorológicas locales para así asegurar unas buenas condiciones de ventilación [48].

La evacuación de los productos de la combustión en las instalaciones térmicas se debe realizar por la cubierta del edificio, de acuerdo a unas normas generales. En el caso de edificios existentes en los que se hace una instalación térmica nueva y no se disponga de conducto de evacuación de gases, se debe realizar un conducto por la cubierta del edificio, en caso de ser una instalación centralizada [10].

La evacuación de los productos de combustión en las instalaciones térmicas se debe realizar siguiendo una serie de normas generales [5]:

- ◆ Los edificios de nueva construcción en los que no se prevea una instalación térmica central ni individual, dispondrán de una preinstalación para la evacuación individualizada de los productos de la combustión, mediante un conducto que desemboque por cubierta.
- ◆ En los edificios de nueva construcción en los que se prevea una instalación térmica, la evacuación de los productos de la combustión del generador se realizará por un conducto por la cubierta del edificio, en el caso de instalación centralizada, o mediante un conducto igual al previsto en el apartado anterior, en el caso de instalación individualizada.
- ◆ En las instalaciones térmicas que se reformen cambiándose sus generadores y que ya dispongan de un conducto de evacuación a cubierta, este será el empleado para la evacuación, siempre que sea adecuado al nuevo generador objeto de la reforma y de conformidad con las condiciones establecidas en la reglamentación vigente.
- ◆ En las instalaciones térmicas existentes que se reformen cambiándose sus generadores que no dispongan de conducto de evacuación a cubierta o éste no sea adecuado al nuevo generador objeto de la reforma, la evacuación se realizará por la cubierta del edificio mediante un nuevo conducto adecuado.

En este caso, el edificio estaba construido previamente, pero la instalación térmica es de nueva construcción. La sala donde la caldera estará colocada es independiente al edificio central, por ello es allí donde se debe colocar la chimenea.

El sistema de gases de combustión está formado principalmente por un tubo que conecta la salida de gases de la caldera y la chimenea, otro tubo que conecta con la salida exterior, y la chimenea propiamente dicha.

Para el diseño de la chimenea se deben cumplir una serie de exigencias [5]:

- ◆ Queda prohibida la unificación del uso de los conductos de evacuación de los productos de la combustión con otras instalaciones de evacuación.
- ◆ En ningún caso se podrán conectar a un mismo conducto de humos calderas que empleen combustibles diferentes.

Es válido el dimensionado de las chimeneas de acuerdo a lo indicado en las Normas UNE-EN 13384-1, UNE-EN 13384-2 o UNE 123001, según el caso.

En el dimensionado se analizará el comportamiento de la chimenea en las diferentes condiciones de carga; además, si la caldera funciona a lo largo de todo el año, se comprobará su funcionamiento en las condiciones extremas de invierno y verano.

- ◆ El tramo horizontal del sistema de evacuación, con pendiente hacia la caldera, será lo más corto posible.
- ◆ Se dispondrá un registro en la parte inferior del conducto de evacuación que permita la eliminación de residuos sólidos y líquidos.
- ◆ La chimenea será de material resistente a la acción agresiva de los productos de la combustión y a la temperatura, con la estanquidad adecuada al tipo de generador empleado. En el caso de chimeneas metálicas la designación según la Norma UNE-EN 1856-1 o UNE-EN 1856-2 de la chimenea elegida en cada caso y para cada aplicación será de acuerdo a lo establecido en la Norma UNE 123001.
- ◆ Para la evacuación de los productos de la combustión de calderas que incorporan extractor, la sección de la chimenea, su material y longitud serán los certificados por el fabricante de la caldera. El sistema de evacuación de estas calderas tendrá el certificado CE conjuntamente con la caldera y podrá ser de pared simple, siempre que quede fuera del alcance de las personas, y podrá estar construido con tubos de materiales plásticos, rígidos o flexibles, que sean resistentes a la temperatura de los productos de la combustión y a la acción agresiva del condensado. Se cuidarán con particular esmero las juntas de estanquidad del sistema, por quedar en sobrepresión con respecto al ambiente.
- ◆ En ningún caso el diseño de la terminación de la chimenea obstaculizará la libre difusión en la atmósfera de los productos de la combustión.

4.5.11.1. Diseño de la chimenea

Para llevar a cabo el diseño de la chimenea se debe tener en cuenta en primer lugar las características que tienen la caldera, y sobre todo, los gases de combustión. En este caso se puede suponer que es una caldera genérica de baja temperatura, ya que el agua saldrá a una temperatura comprendida entre 55 y 80 °C y los gases de combustión saldrán como máximo a 140 °C [42].

El diseño de la chimenea se va a llevar a cabo teniendo en cuenta las exigencias que se establecen en la normativa española referida a chimeneas.

En primer lugar, habrá que designar la chimenea según las normas y para ello se va a emplear la norma UNE-EN 1856-1. Según esta norma, la chimenea requerida para el sistema térmico que se presenta es [11]:

→ **UNE-EN 1856-1 T200 N1 W V2-L50040 O**, donde:

- T200 hace referencia a la temperatura máxima de 200 °C.
- N1 expresa que el tiro de la chimenea será natural.
- W indica que los gases de combustión tendrán humedad, y por tanto la chimenea debe tener resistencia a condensados.
- V2-L50040 se refiere al tipo de resistencia a la corrosión, donde L50040 hace referencia al tipo de material que debe haber en la pared interior de la chimenea.
- O expresa que la chimenea no requiere resistencia al fuego de hollín.

Para el cálculo de las dimensiones de la chimenea existe una aplicación que facilita un fabricante de chimeneas, DINAK, que a través de los datos facilitados por el usuario permite el cálculo del diámetro de los conductos, así como el modelo de conducto necesario para la misma [51].

→ **Dimensiones de la chimenea**

El fabricante de la caldera hace una serie de recomendaciones para guiar el diseño de la chimenea que llevará la caldera. Se establecen para ello criterios tanto para su diseño exterior como interior, aunque posteriormente habrá que llevarse a cabo una adecuación a la normativa vigente [48].

El diseño definitivo de la chimenea se puede observar en el Plano que se adjunta al final del documento.

- **Sección**

El fabricante recomienda que el diámetro de la chimenea debe estar adaptado a la salida de gases de combustión de la caldera, siendo el mínimo del diámetro de la misma de 140 mm. Típicamente se podría usar una chimenea de 150x150 mm. Dependiendo del modelo de la caldera, la chimenea será mayor o menor. En el caso del modelo KP 2 62 el diámetro de la misma será de 180 – 200 mm [48].

Sin embargo, si se emplea la aplicación DINAKALC 4.2.1. se va a obtener un diámetro calculado según la normativa aplicable en cada caso [20].

Los resultados obtenidos son los siguientes:

DINAKALC 4.2
Resultados Caldera Centralizada

Dimensionado

Gama
Diámetro interior mm: 150
Diámetro exterior mm: 210
Longitud m: 1,2

Caudal m³/h: 225,23
Veloc. media de humos m/s: 3,5
Tª media de humos °C: 139
Tª media de pared exterior °C: 29
Pérdidas de carga Pa: 1,2

Tramo horizontal
Dinak DW con junta

Pot. nominal	Pot. mínima
225,23	66,66
3,5	1
139	91
29	22
1,2	0,2

Tramo vertical
Dinak DW con junta

Pot. nominal	Pot. mínima
220,85	64,8
3,5	1
131	81
28	21
9,4	1,1

Salida

Pot. nominal	Pot. mínima
217,38	63,42
3,4	1
124	74
28	21
0	0

Comprobaciones

Primer requisito de presión: $P_z \geq P_{ze}$

Segundo requisito de presión: $P_z \geq P_b$

Primer requisito de temperatura: $T_{iob} \geq T_g$

Valores

Pot. nominal	Pot. mínima	Pa	Pa	Pa
7,88	9,49	7,88	9,49	0,58
0,73	0	0	0	0
116,9	62,4	116,9	62,4	0
0	0	0	0	0

Validación

Resultado final

Tiro de la instalación ($P_z - P_{ze}$) ≥ 0

Pot. nominal: 7,29 Pa
Pot. mínima: 8,77 Pa

Figura 43. Resultados del cálculo del diámetro de la chimenea [20]

Por tanto, esta aplicación determina que el diámetro interior debe ser de 150 mm y el exterior de 210 mm. Además, el modelo que ha determinado es una chimenea de doble pared construida de acero inoxidable aislada con junta de estanqueidad, especialmente diseñada para aplicaciones de condensación.

• Instalación exterior

Las chimeneas que van por el exterior de los edificios deben estar bien aisladas y la temperatura de la pared exterior no debe ser mayor a 70 °C. Además, la resistencia térmica mínima que deben tener las chimeneas aisladas es de 0,4 m²·K/W [20].

Las chimeneas deben estar provistas de una envolvente metálica exterior que rodee al conducto interior, que cumpla con los requisitos mínimos de resistencia a la corrosión ambiental, y que aporte estabilidad mecánica al conjunto.

La altura mínima recomendada para la chimenea es de 6 metros.

• Instalación interior

Las chimeneas que discurran por el interior de una sala de máquinas, como es el caso, deben estar adecuadamente aisladas. El valor mínimo de la resistencia térmica debe ser de 0,4 m²·K/W [10].

La superficie exterior de los tramos de chimenea que discurran por el interior de la sala de máquinas no debe exceder los 70°C de temperatura cuando exista el riesgo de contacto humano accidental, salvo aquellos tramos que estén protegidos por un cerramiento adecuado, de forma que la temperatura exterior máxima de ese cerramiento sea igual o inferior a 70°C.

Las chimeneas que discurran por la sala de máquinas pueden trabajar con presión positiva interior (sobrepresión), pero no debe superar los 5 kPa [10].

- **Conducto de unión o tramo horizontal de la chimenea**

El tramo horizontal de la chimenea debe diseñarse de tal forma que recorra la mínima distancia posible, y evitando al máximo los cambios de dirección y de sección.

Si se prevé la formación continua de condensados durante el funcionamiento normal de la instalación, el conducto de unión debe tener una pendiente ascendente mínima de 3° (5,2%), con el fin de facilitar su correcto drenaje, y evitar la aparición de corrosión o fugas debido a la acumulación de los mismos en el interior del conducto [10].

Para generadores atmosféricos, el conducto de unión debe tener una altura mínima vertical y ascendente igual o mayor a 0,2 m justo por encima del cortatiros [10].

En este caso, la distancia horizontal desde la salida de humos de la caldera hasta la chimenea es de 1,198 m, pero como la temperatura de los gases no es demasiado elevada se pueden formar condensados, con lo que se incluirá una pendiente de 3° en dicho tramo.

Este tramo estará formado por varias piezas [51]:

- Un adaptador concéntrico para adaptar el diámetro del conducto de salida de humos de la caldera que tiene un diámetro de 160 mm al diámetro del conducto de la chimenea que tiene un diámetro de 150 mm.
- Una salida direccional horizontal.
- Un módulo recto mediano de una longitud de 440 mm.
- Un módulo extensible corto que puede tener una longitud desde 350 a 550 mm.
- Una te de 93° para hacer la conexión con el tramo vertical y con el módulo de inspección.
- Varias abrazaderas de unión que permiten unir los módulos entre sí.

- **Tramo vertical de la chimenea**

El tramo vertical de la chimenea debe diseñarse evitando al máximo los cambios de dirección y de sección. Cuando éstos son inevitables, deben diseñarse de forma que ofrezcan la mínima resistencia a los gases.

La base del tramo vertical debe disponer de una zona de recogida de hollín, condensados y pluviales, provista de un registro de inspección y limpieza, y de un manguito de drenaje. Si además la chimenea trabaja a presión positiva, debe conectarse un sifón al manguito de drenaje o bien disponer de un purgador de condensados automático que impida la salida de gases de evacuación por el tubo de desagüe [10].

En la chimenea que se va a instalar el tramo vertical va a tener el mismo diámetro que el horizontal y con una longitud de 6 m. Además, como el tramo horizontal estará inclinado 3°, hará falta una te de 93° para hacer la unión entre ambos [51].

En la parte inferior de este tramo se va a localizar un módulo de comprobación y un colector de hollín. Por tanto, este tramo consta de los siguientes elementos [51]:

- Cinco módulos rectos de 940 mm de longitud cada uno.
- Un módulo extensible largo que permite longitudes desde 550 hasta 830 mm.
- Un módulo de comprobación que se colocará en la parte inferior de dicho tramo para poder inspeccionar el estado de los humos.

- Un colector de hollín con desagüe que permitirá la eliminación de desechos como el hollín, los condensados o los pluviales.
- Varios anclajes intermedios para fijar de forma adecuada la chimenea a la pared de la sala de calderas.
- Varias abrazaderas de unión para unir entre sí todos los módulos.
- Un soporte a techo para poder sujetar el conducto con el techo de la sala de calderas.
- Una salida libre que permitirá la salida del humo al exterior.

• Tiro de la chimenea

El tiro de una chimenea es la diferencia de presión que se genera por la diferencia de densidades entre el gas de la chimenea y el aire exterior. Generalmente la altura de la chimenea, su diámetro y la solución de combustión afectan al tiro de la chimenea. En aquellas que son más altas, el tiro máximo permisible es superado a menudo. En la siguiente figura se muestra el tiro que tendrá la chimenea en función de la potencia de la caldera [48].

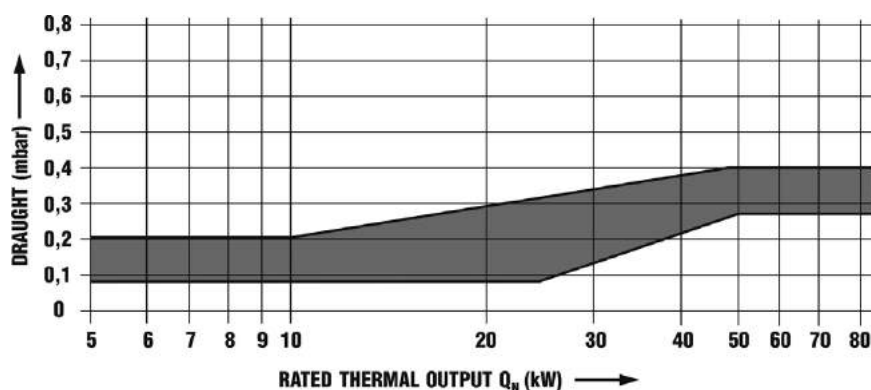


Figura 44. Tiro de la chimenea [48]

A veces se emplea un regulador para corregir el exceso de tiro de la chimenea. Este regulador debería ser construido 0,5 m por debajo de la salida de humos de la chimenea. Si no fuese posible, puede ser incorporado en el cuerpo de la chimenea a una altura ineficaz. En la Figura 45 se puede observar la colocación del limitador de tiro [48]:

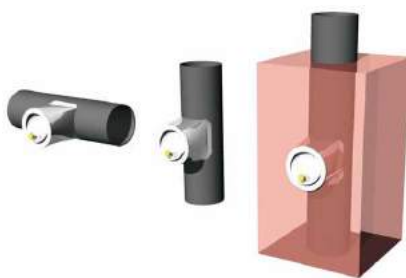


Figura 45. Regulador de tiro de la chimenea

En otros casos se puede añadir también un generador de tiro en la chimenea en caso de que se requiera la creación de un tiro artificial. Esto consiste en ventiladores adicionales que se añaden en la salida de la chimenea.

También se pueden añadir protectores y extensiones, pero siempre y cuando estén hechos de material no combustible y que no sean de un diámetro menor al de la chimenea, reduzca el tiro de la chimenea y que prevenga la limpieza de la misma.

4.5.11.2. Remate de la chimenea

→ Distancias mínimas del remate de la chimenea para su correcto funcionamiento

- Distancias con respecto al propio tejado

Pueden darse dos casos dependiendo de la inclinación del tejado:

- ♦ Caso A: tejado plano (inclinación menor a 20°)

El remate de la chimenea debe situarse a más de 1 m por encima de la cubierta o de la cumbrera del tejado, tal y como se muestra en la Figura 46:

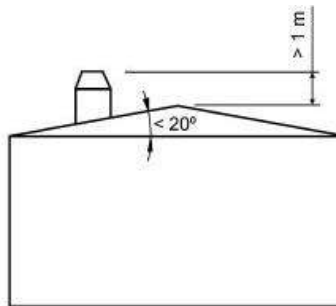
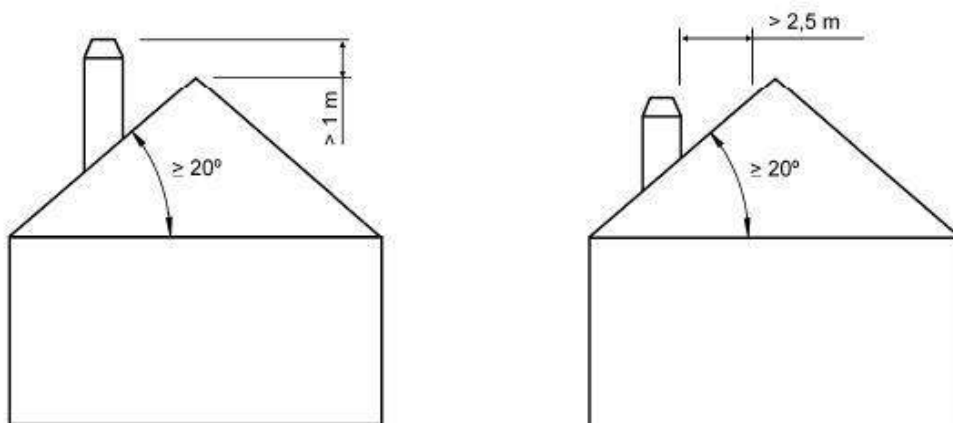


Figura 46. Remate de la chimenea en tejado plano [10]

- ♦ Caso B: tejado inclinado (inclinación mayor o igual a 20°)

El remate de la chimenea debe estar situado a más de 1 m por encima de la cumbrera del tejado, o la distancia horizontal desde el remate de la chimenea a la superficie del tejado es superior a 2,5 m, tal como muestra la Figura 47:



El

Figura 47. Remate de la chimenea en tejado inclinado [10]

→ Distancias respecto a obstáculos en el propio tejado o cubierta

Debe cumplirse que el remate se eleva 1 m más por encima del obstáculo o que la chimenea se instala a una distancia horizontal del obstáculo mayor de 2 veces la altura del mismo, tal y como se ve reflejado en la Figura 48:

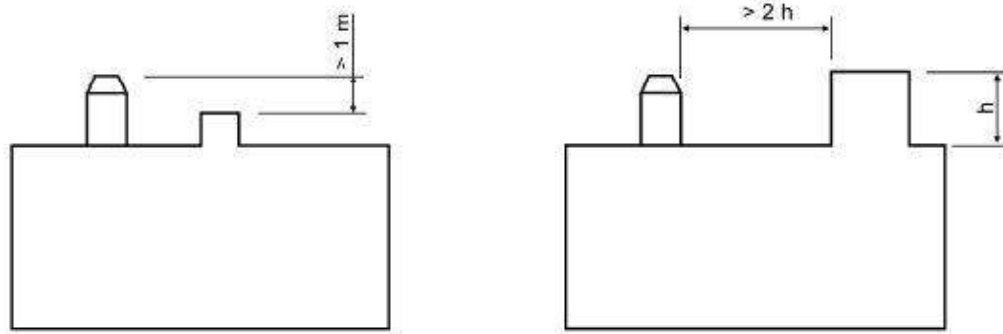


Figura 48. Distancias del remate de la chimenea respecto a obstáculos [10]

→ Distancias respecto a obstáculos exteriores al edificio

El remate debe elevarse más de 1 m por encima de la parte más alta de cualquier edificación situada en un radio inferior a 100 m respecto a la salida de la chimenea. Además, debe estar por encima de cualquier edificación situada en un radio de entre 10 y 20 m respecto a la salida de la chimenea (véase Figura 49).

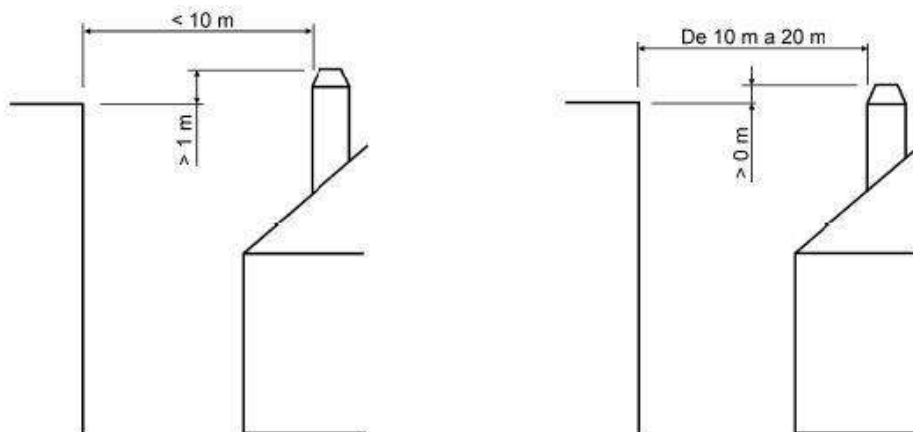


Figura 49. Distancias del remate de la chimenea respecto a obstáculos exteriores [10]

En el Plano se podrá observar las distancias a la que se encuentra el remate de la chimenea con respecto a la sala de máquinas y al edificio.

4.5.11.3. Medición, inspección y limpieza

Cuando se emplean combustibles sólidos, deben habilitarse accesos a la chimenea para poder efectuar adecuadamente las labores de inspección y limpieza interior del conducto a lo largo de todo el trazado, incluyendo el remate [10]. Este diseño es muy importante con combustibles sólidos, ya que la acumulación de hollín en la pared interior del conducto implica un elevado riesgo de incendio a la vez que se reduce la sección útil del conducto de humos. Por ello en una chimenea de una caldera de biomasa debe habilitarse un acceso cada 9 m en los tramos horizontales, y al menos un acceso en la base del tramo vertical. Si la chimenea tiene algún desvío, habrá que añadir accesos adicionales a la chimenea.

Además, la chimenea debe tener un orificio de medida y control de las condiciones de combustión a la salida del aparato, salvo que la caldera tenga un orificio en la boca de conexión con la chimenea. Este

orificio debe tener un diámetro tal que quepa una sonda o aparato de medición, pero se deben mantener las condiciones de estanquidad y resistencia de la chimenea.

4.5.11.4. Suportación de la chimenea

Las chimeneas deben estar soportadas adecuadamente, bien mediante el uso de anclajes fijados a la estructura del edificio o por medio de estructuras autoportantes [10].

Si la chimenea va fijada a la estructura del edificio, ésta debe ser capaz de soportar el peso de la chimenea y los esfuerzos laterales transmitidos. Si la chimenea va instalada por el exterior del edificio, ésta debe superar los ensayos de resistencia al viento según la normativa aplicable. Los anclajes a la pared se deben realizar de acuerdo con las instrucciones del fabricante y deben ser adecuados al material de construcción de la pared, que por sí misma debe ser capaz de soportar los esfuerzos transmitidos por la chimenea.

La distancia entre anclajes laterales debe ser inferior o igual a la máxima declarada por el fabricante. Si dicha altura se supera, se debe instalar un nuevo anclaje de carga, de forma que la distancia entre ambos sea inferior o igual a la altura máxima declarada.

La distancia horizontal entre el edificio y la superficie de la chimenea debe ser inferior o igual a la máxima establecida por el fabricante, y nunca superior a 1 m.

Ningún elemento de la chimenea debe ser sometido a un esfuerzo de compresión superior al máximo declarado por el fabricante. Debe prestarse atención a las tes y a los elementos con puerta de inspección situados por encima de los anclajes de carga, por estar sometidos a esfuerzos importantes de compresión debido al peso de la chimenea, y por tratarse, en general, de los componentes mecánicamente más débiles de la instalación. Además, ninguna unión entre elementos debe estar sometida a un esfuerzo de tracción superior al máximo declarado por el fabricante [10].

4.5.11.5. Placa de la chimenea

Una vez que la chimenea ha sido instalada correctamente, se le debe colocar una placa en un lugar visible, donde se recogerán todas sus especificaciones.

Esta placa será suministrada por el fabricante de la chimenea y debe ser cumplimentada por el instalador antes de su colocación. Debe estar grabada o impresa de forma indeleble, y fabricada de un material duradero.

Como mínimo, debe contener la siguiente información [10]:

- ◆ Fabricante de la chimenea
- ◆ Designación del producto
- ◆ Diámetro
- ◆ Datos del instalador (nombre, dirección y teléfono)
- ◆ Fecha de instalación

En la Figura 50 se observa un ejemplo de la misma:

Fabricante:	
Designación:	
Diámetro:	
Instalador:	Nombre Dirección Teléfono
Fecha de instalación:	

Figura 50. Ejemplo de placa de la chimenea [10]

4.6. Red de Distribución de Agua de Calefacción

Para que un sistema de calefacción sea efectivo se debe transportar el agua que se calienta en la caldera hasta una unidad terminal, es decir, un equipo que al recibir el fluido caloportador transfiere la energía que éste contiene al local en el que se encuentra instalada. Estas unidades terminales pueden ser radiadores, convectores, fan coils, ventiloconvectores, suelo radiante, etc.

Las instalaciones de calefacción pueden ser de baja, media o alta temperatura en función de la temperatura de salida del agua de la caldera [31]. Se habla de baja temperatura cuando ésta oscila por los 50 °C, de media temperatura cuando gira en torno a los 90 °C y de alta temperatura cuando es del orden de los 130 °C.

En el caso de las instalaciones individuales, como es el caso, se emplea agua caliente a baja o media temperatura. Si la instalación es de baja temperatura bastaría con producir el calor con una bomba de calor, energía solar, electricidad o una caldera convencional [31]. En cambio, si la instalación emplea agua a media temperatura, ésta se debe calentar con una caldera convencional o eléctrica.

Pueden considerarse dos tipos principales de instalación [31]:

- Instalaciones abiertas: son aquellas en las que el agua está en contacto con la atmosfera a través de un depósito de expansión situado en la parte superior de la instalación, consiguiendo temperaturas de 90 o 95 °C, por lo que este tipo de instalación es adecuada para bajas y medias temperaturas.
- Instalaciones cerradas: son aquellas en las que no hay contacto entre el agua y el aire atmosférico. Van dotadas de vasos de expansión cerrados o herméticos, con temperaturas superiores a 100 °C. si están dotadas de sistemas de mantenimiento de presión en el interior del circuito se denominan de agua sobrecalentada, por lo que se podrán alcanzar temperaturas de 150 °C aproximadamente, por tanto, serán aptas para instalaciones de baja, media o alta temperatura.

4.6.1. Tipos de redes de distribución

4.6.1.1. Sistema bitubo

Es el sistema más empleado y también el más sencillo [29]. Consta de dos tuberías, una que sale de la caldera para alimentar los radiadores con sus debidas ramificaciones, y otra que recoge el agua de retorno de los radiadores y lo lleva hasta la caldera de nuevo, tal y como se observa en la Figura 51.

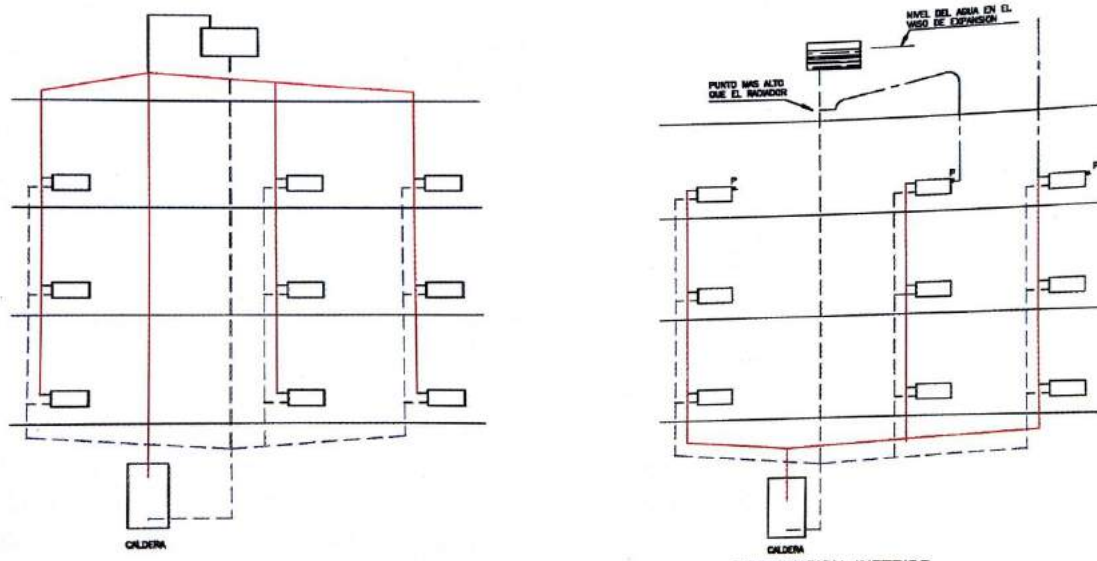


Figura 51. Sistema de distribución de agua de calefacción bitubo [29]

Asimismo, este tipo de instalación se puede configurar de varias formas distintas: una por distribución superior (representada a la izquierda de la Figura 51) y otra por distribución inferior (se puede observar a la derecha de la Figura 51). La primera requiere un anillo superior de distribución y la segunda es más empleada por ser más económica.

En el caso de edificios de gran altura, para evitar grandes pérdidas de carga en longitudes de tuberías elevadas, se emplea el retorno invertido, que se muestra en la Figura 52.

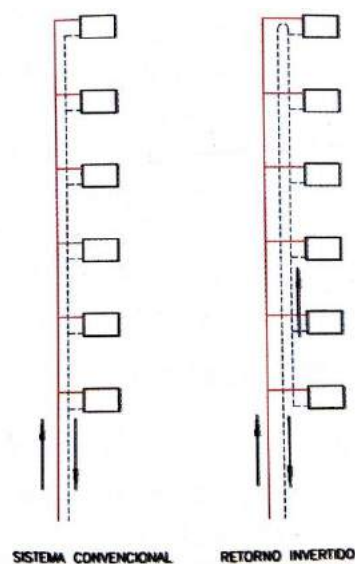


Figura 52. Sistema convencional e invertido de distribución bitubo [29]

4.6.1.2. Sistema monotubo

En este sistema de distribución utiliza un solo tubo que actúa tanto de circuito de ida como de retorno, colocándose así los emisores de calor en serie [29]. De esta forma, el tubo procedente de la caldera llega al primer radiador, donde entra toda o parte del agua. El agua procedente del primer radiador llega al

segundo, y así sucesivamente, mientras que la temperatura que llega a un radiador en serie es suficientemente alta para que el tamaño del radiador sea rentable. El número de radiadores en serie que económicamente pueden conectarse depende de su tamaño, pero una cifra entre 4 o 6 es algo común. El esquema monotubo es el indicado en la Figura 53.

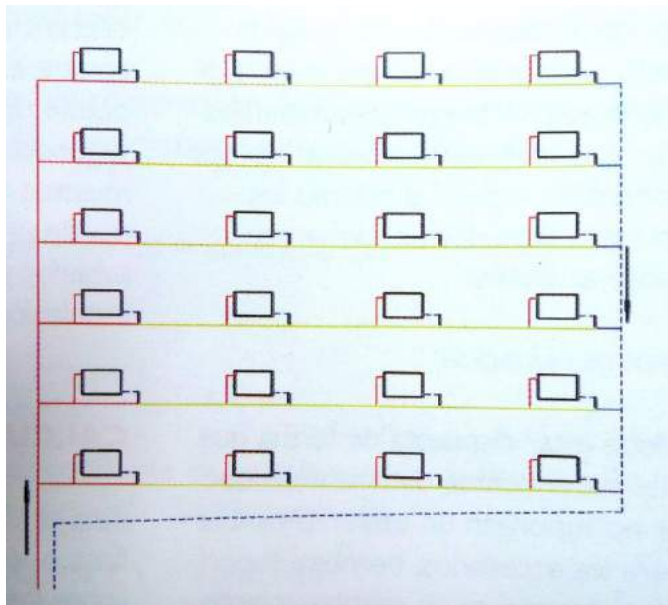


Figura 53. Sistema mixto monotubo-bitubo [29]

En este tipo de sistema hay un ahorro de tubería, pero en cambio, como la temperatura va disminuyendo, el área de intercambio que requiere un radiador va a ir siendo cada vez mayor.

Por tanto, el sistema monotubo puro solo es viable en pequeñas instalaciones. En instalaciones mayores habrá que recurrir a sistemas mixtos o bitubos.

4.6.2. Situación relativa de los elementos del sistema de distribución

En el circuito hidráulico los elementos no pueden estar colocados al azar. Esto quiere decir que los elementos principales, como son la caldera, las bombas o los vasos de expansión, tienen que estar en un lugar determinado. Como todos los puntos de la red están a presión mayor que la atmosférica, existirá una presión de referencia que marca el punto de inserción del vaso de expansión [29].

Si este punto está en la aspiración de la bomba, el vaso debe estar situado por encima del radiador más alto. En cambio, si este punto está en la impulsión de la bomba, la altura del vaso de expansión debe ser igual, por lo menos, a la altura del último radiador, aumentada en la presión estática de la bomba. Es decir, si se conecta el vaso de expansión en la impulsión de la bomba, la presión es la mayor posible, mientras que si se conecta en la aspiración, ésta es la menor. Como consecuencia, lo más adecuado es colocar el vaso de expansión en la aspiración de la bomba.

En cuanto a la caldera, es indiferente su situación, se debe garantizar que su unión con el vaso de expansión no debe tener ningún elemento que estrangule esta unión.

4.6.3. Elementos generales de una red de distribución de fluidos

Una red de distribución de agua caliente consta de una serie de elementos que se deben definir y diseñar adecuadamente. Por ello se deben especificar los materiales empleados para unir entre sí y con la fuente

energética, los aparatos emisores de calor. Es decir, habrá que diseñar toda la red de tuberías, en cuanto al material del que están formadas, así como su forma de colocación y montaje. Además, también habrá que llevar a cabo una definición de los accesorios que forman parte de esta red de distribución.

4.6.3.1. Materiales

Los materiales que se pueden emplear en calefacción vienen regulados por la normativa aplicable. Por tanto, en las canalizaciones de las instalaciones se pueden emplear los siguientes materiales [31]:

- Conducción de combustibles líquidos: se emplea acero, cobre o sus aleaciones, pero no se puede usar aluminio.
- Conducciones de gas: se emplearán las tuberías indicadas en la normativa específica para ello.
- Conducciones de agua caliente, agua de refrigeración o vapor a baja presión: se empleará cobre, latón, acero negro soldado o estirado sin soldadura. Si la temperatura es menor a 53 °C se podrá utilizar hierro galvanizado o una tubería de plástico homologada. Para agua caliente sanitaria no se podrá usar el acero negro soldado.
- Conducciones de agua para refrigeración de condensadores: se podrán utilizar los mismos materiales que para agua caliente, enfriada o vapor a baja presión si el circuito es cerrado. Si es abierto no se puede emplear acero negro salvo que haya un equipo de tratamiento anticorrosivo del agua. En ambos casos se podrá utilizar plástico homologado.
- Alimentación de agua fría: se pueden utilizar tubos de acero galvanizado, cobre o plástico.

En la normativa española existen tablas con las características de las tuberías más empleadas en las que se expresa sus distintos diámetros, espesores y la masa.

Una vez dicho esto, se puede decir que las tuberías usadas en la instalación que se va a diseñar serán de cobres. Posteriormente se establecerán sus características.

4.6.3.2. Compensadores de dilatación

Cuando por el interior de un conducto circula un fluido a temperatura mayor que la temperatura ambiental produce el calentamiento del metal del tubo, lo que provoca un aumento de su longitud si uno de los extremos tiene posibilidad de desplazarse longitudinalmente. En el cobre el aumento de longitud que se produce para temperaturas de hasta 110 °C es de 1, mm/m [31].

Si una tubería no tiene la posibilidad de dilatarse libremente, lo que sucede si sus extremos están fijos, el calentamiento provoca una deformación debido a la flexibilidad del material, pudiendo retornar a su posición inicial al enfriarse gracias a la elasticidad.

Los efectos que producen las dilataciones en la red de tuberías se pueden prevenir utilizando elementos de compensación, pero también se puede llevar a cabo una compensación natural gracias a la propia elasticidad de los materiales.

→ Compensación natural

A menudo las modificaciones de la longitud de una tubería pueden ser absorbidas por ella misma gracias a su elasticidad, debido a los cambios de dirección que obliga el trazado de la red. Existen dos formas de compensación natural, el codo y la “S” [31], que se muestran en la Figura 54:

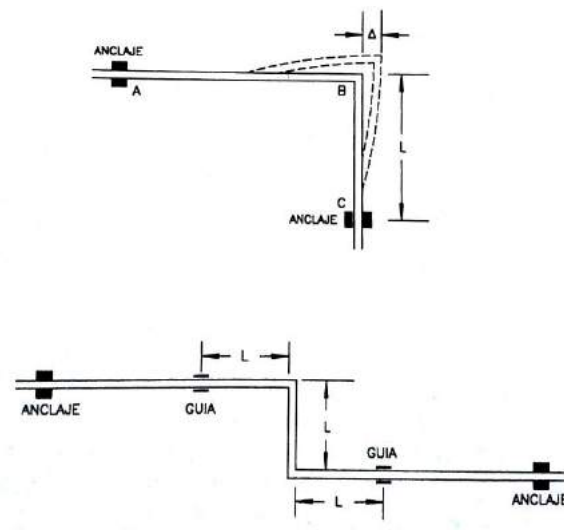
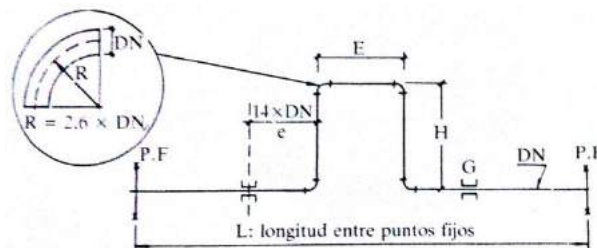


Figura 54. Elementos de compensación natural [29]

→ Compensadores especiales

Cuando las dilataciones no se pueden absorber por compensación natural, como por ejemplo en tramos rectos de gran longitud o tuberías de gran diámetro, se emplean compensadores especiales.

Los compensadores especiales más sencillos son el codo doble en U o el compensador en forma de lira [036]. El primero puede construirse en el momento del montaje de la instalación soldando los tubos con codos del mismo material, tal y como se muestra en la Figura 55. El segundo es más elástico y está compuesto por tubos lisos, plegados y ondulados al igual que aparece en la Figura 56, cuya capacidad



de carga y fuerza de retroceso se debe indicar al fabricante.

Figura 55. Compensador de codo doble en U [31]

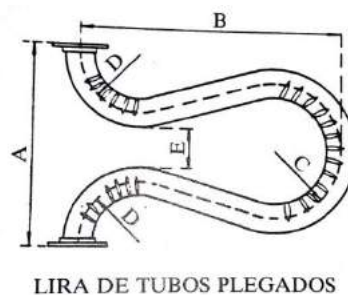


Figura 56. Compensador en forma de lira [31]

Este tipo de compensadores se usan para absorber las dilataciones de las tuberías en dirección axial. Tienen como elemento base un fuelle metálico de bronce o acero y se caracterizan por el poco espacio que ocupan [31]. En la Figura 57 se puede ver claramente la estructura de dichos compensadores.

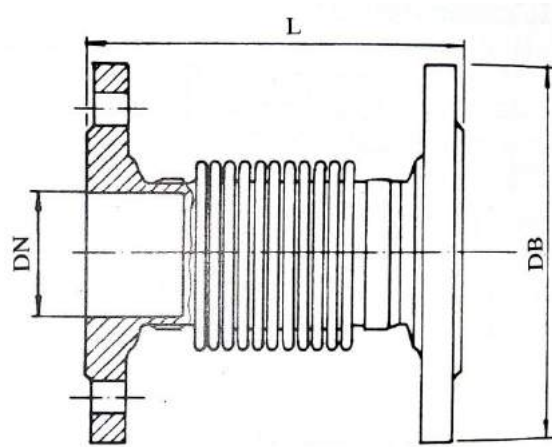


Figura 57. Compensador axial [31]

Para llevar a cabo su montaje de forma adecuada se deben poner guías delante y detrás de los compensadores para evitar que se produzca un doblamiento lateral y se debe tener en cuenta los puntos fijos que deben absorber las fuerzas de dilatación.

Estos compensadores pueden incluir “tubos guía”, cuya misión es conseguir una guía axial exacta y disminuir la resistencia del fluido, así como prevenir posibles deterioros. Son adecuados para presiones menores a 3 atm y diámetros nominales desde 150 mm, ya que en tuberías menores se doblarían por la acción de los empujes.

→ Colocación de los compensadores

Todos los compensadores mencionados anteriormente deben instalarse entre puntos fijos (P.F.), tal y como se muestra en las figuras anteriores correspondientes a cada tipo. Hay que tener en cuenta que la parte que se encuentra entre dos puntos fijos no se le puede limitar el movimiento con soportes o sujeciones [31].

Los puntos fijos tienen como objetivo absorber las fuerzas desarrolladas durante la dilatación de la tubería, transmitiéndolas al suelo, cimentación o estructura. Se realiza fijando la tubería por soldadura a una construcción, anclada a su vez al suelo, a la estructura o a un muro, de manera que la tubería no pueda desplazarse en ningún sentido.

Asimismo, se deben instalar guías próximas a los elementos de compensación [3] (se mostraba como G en las figuras anteriores) de forma que el desplazamiento se conduzca únicamente en dirección axial.

4.6.3.3. Aislamiento térmico

El aislamiento térmico es una técnica que se debe emplear para evitar pérdidas de calor a través del circuito hidráulico. Además, el RITE establece que es de uso obligatorio en aquellos conductos que lleven fluidos a temperaturas mayores de 40 °C, lo cual se cumple en todo el circuito. Se deben tener en cuenta una serie de aspectos [5]:

- ♦ Si las tuberías están instaladas en el exterior del edificio, la terminación final del aislamiento deber poseer alguna protección contra la intemperie. Además, se debe impedir el paso del agua de lluvia.

- ◆ Aquellos equipos y tuberías que vengan aislados de fábrica deben cumplir toda la normativa específica que se aplica a ello.
- ◆ En todas las instalaciones térmicas en las que circule un fluido en el que no tenga lugar ningún cambio de estado, las pérdidas térmicas globales no deben superar el 4 % de la potencia máxima que transporta.

Para el cálculo del espesor mínimo de aislamiento se pueden emplear tanto el procedimiento simplificado como el alternativo. En el proceso simplificado se disponen de unos valores mínimos de espesor de aislamiento que vienen tabulados en función del diámetro y la temperatura del fluido. En el método alternativo se deben emplear las ecuaciones de transmisión de calor para calcular según la norma UNE-EN ISO 12241.

4.6.3.4. Válvulas

Las válvulas que se emplean en instalaciones de calefacción estarán constituidas con un diámetro adecuado y con las presiones que deban soportar, y con los materiales adecuados. Además, tienen que ser estancas en el interior y deben tener la presión hidráulica exterior fijada por la normativa.

A continuación, se va a hacer un estudio de los tipos de válvulas principales que se pueden utilizar en un circuito de este tipo [31]. Todas ellas se muestran en la Figura 58.

- ◆ Válvulas de compuerta: se compone de un vástago con volante y cuña o discos paralelos, prensaestopas y junta. La estanqueidad se consigue al asentarse sobre los anillos de cierre, unidos al cuerpo de la válvula, la cuña o en su caso los discos paralelos. Son adecuadas para cierre todonada y tienen poca pérdida de carga.
- ◆ Válvulas de bola: el elemento de cierre lo constituyen una bola de acero perforada diametralmente en el sentido del eje de la válvula. El accionamiento de la válvula puede ser manual o automático, siendo ésta de cierre rápido, apropiada para aislamiento de circuitos.
- ◆ Válvulas de mariposa: su cuerpo está formado por dos aros unidos por tornillos embutidos. El órgano de cierre es un disco de forma perfilada y doble sección esférica que gira sobre su eje vertical. El asiento es de tipo anular, encajado entre los dos aros del cuerpo, lo que asegura la estanqueidad. Se emplean como elemento de regulación y cierre contra el reflujo. Son válvulas ligeras, pero no son adecuadas para grandes presiones y velocidades.
- ◆ Válvulas de asiento: poseen un disco de cierre situado en el extremo del husillo y perpendicular a él, de forma que asienta sobre una abertura circular. Según la forma de cierre pueden ser de asiento plano o inclinado y según la forma de montaje pueden ser de paso recto o angular. Son muy adecuadas para la regulación y control de pequeños caudales.
- ◆ Válvulas de aguja: son una variante de las válvulas de asiento, pero el elemento de cierre es un cono o aguja en prolongación del vástago que asienta sobre una abertura circular. Principalmente se usa para regulación a altas presiones.
- ◆ Válvulas de macho: están formadas por el cuerpo y el macho, que es el elemento móvil y tiene forma de cono y hace asiento y cierre con el cuerpo hembra de la válvula. Se emplean para pequeños diámetros, temperatura y presión para el control de la aireación, purga de aire, punga de agua y vaciado.
- ◆ Válvulas de retención: son elementos de seguridad destinados a impedir en las tuberías el retroceso del fluido. Hay varios tipos, entre los que se encuentran las de clapeta oscilante, de asiento o de resorte.

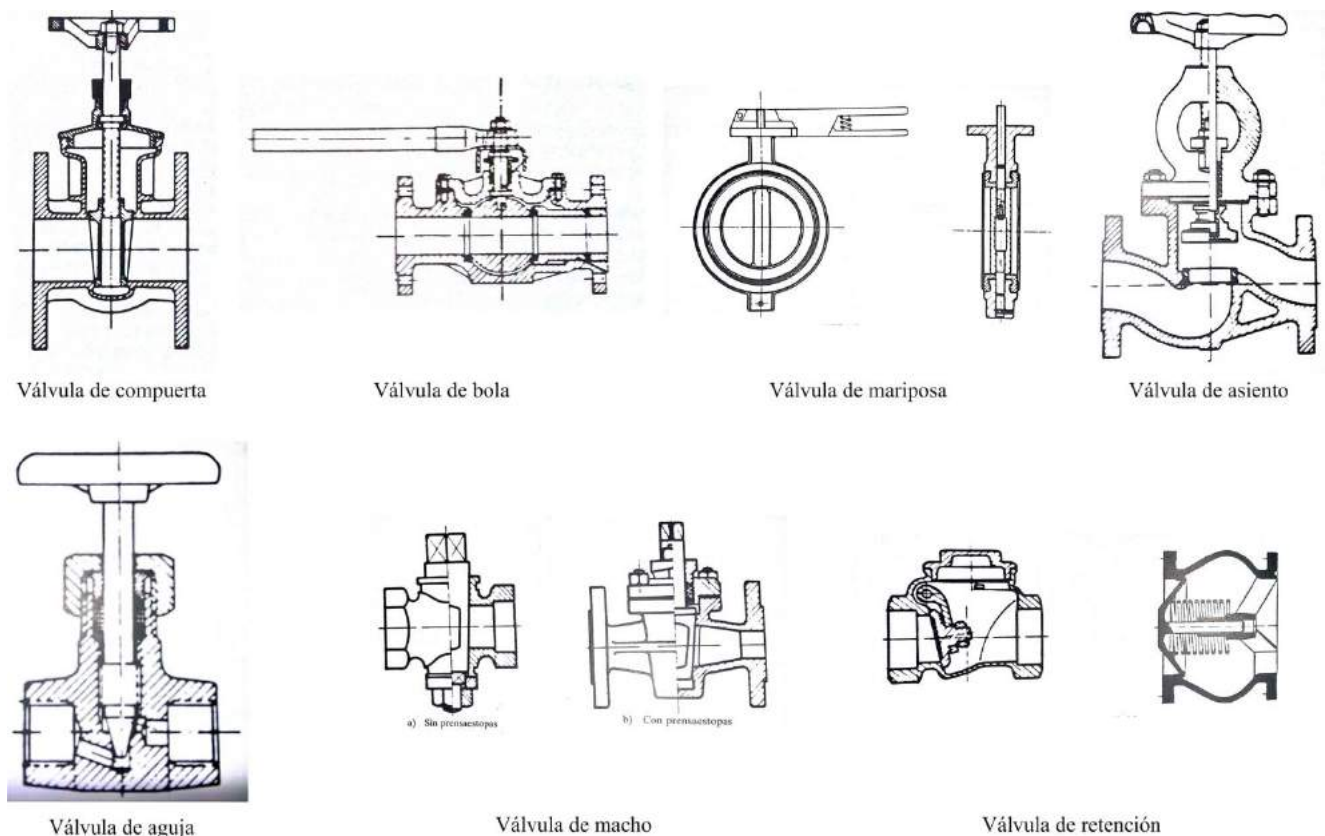


Figura 58. Tipos de válvulas para una red de distribución de agua caliente [31]

4.6.3.5. Bombas

Las bombas son elementos mecánicos que se utilizan para vencer las pérdidas de presión que se producen en la red de tuberías. Existen bombas centrífugas, rotativas y alternativas, pero las que normalmente se usan en circuitos de agua son las centrífugas debido a su funcionamiento silencioso [31].

Las bombas centrífugas están formadas por un rodete en el interior de una carcasa en espiral, dispuesta sobre un eje al que se acopla un motor de arrastre. La boca de aspiración de la bomba está dispuesta frontalmente, en dirección axial, mientras que la de impulsión se eleva verticalmente.

Para la selección de una u otra bomba, los fabricantes proporcionan las curvas características de las mismas, en las que se puede relacionar altura o presión con el caudal, la potencia y el rendimiento. Por otro lado, también se debe obtener la curva característica del sistema, en la que aparece representada la variación del caudal con respecto a la presión. El caudal y la presión que suministra la bomba deben ser iguales a las que precisa el sistema. Por tanto, el punto de funcionamiento de la bomba debe ser aquel en el que se cortan las curvas de la bomba y la del sistema.

4.6.4. Emisores de calor

Los emisores de calor son aquellos elementos que ceden el calor producido por el generador de calor al ambiente de los locales. Son por tanto los equipos terminales de la instalación de calefacción [31].

Los emisores más utilizados comúnmente son los radiadores, los tubos con aletas, los convectores y los ventiloconvectores.

4.6.4.1. Radiadores

Son los equipos terminales más utilizados en las instalaciones de calefacción por agua caliente. Existen dos tipos principales [31]:

→ Radiadores de elementos

Están constituidos por varios elementos iguales que se ensamblan entre sí. Suelen ser de hierro fundido, aluminio o chapa de acero.

Los radiadores de hierro fundido son los más duraderos y fiables, pero tienen como principal inconveniente la inercia térmica que poseen, lo que conlleva unos periodos de puesta a régimen altos.

Los radiadores de acero son más ligeros y tienen una menor inercia térmica, pero tienen una vida más corta que los anteriores. Suelen estar constituidos por bloques de elementos soldados entre sí, que pueden conectarse unos a otros mediante manguitos roscados.

Los radiadores de aluminio tienen una alta conductividad térmica, con lo que entran en régimen con rapidez. Suelen estar constituidos por elementos aleteados longitudinalmente, lo que favorece la transmisión de calor por convección.

→ Radiadores de panel

Están formados por dos chapas de acero estampadas, soldadas eléctricamente por puntos, que al unirse forman unas columnas por las que circula el agua.

Su principal ventaja es que el panel proyecta el calor en la dirección en que se orienta y también su facilidad de integración en el decorado.

→ Emisión calorífica

Un radiador no es más que un intercambiador de calor, con lo que para saber la potencia calorífica que emiten será [30]:

$$P = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T = k_{ut} \cdot (t_m - t_a)^n$$

Donde P será la potencia calorífica emitida, C_p es la capacidad calorífica del agua, ΔT el salto térmico en el emisor, k_{ut} y n son coeficientes que se determinan en el laboratorio, t_m es la temperatura media en el radiador y t_a la temperatura del ambiente.

El calor que emite un radiador puede verse afectado por los recubrimientos que se hagan del mismo [31], debido a que se modifican las corrientes convectivas a su alrededor. Existe una tabla en la que se dan valores del coeficiente que se debe usar para corregir esa diferencia de potencia emitida. En cualquier caso, el radiador debe conectarse a unos 4 cm de la pared y a 10 cm del suelo para permitir una libre circulación del aire.

4.6.4.2. Tubo aleteado

Este tipo de emisor está formado por tuberías de acero con aletas del mismo material, generalmente helicoidales, consiguiéndose una elevada superficie calefactora con muy poco volumen ocupado [31].

Normalmente se suele colocar en los zócalos de los locales a calentar, recubriéndose de una envolvente decorativa que debe estar dotada de entradas y salidas de aire para su calentamiento. Dada su ubicación, ocupan muy poco espacio, pero requieren una limpieza periódica para evitar que las aletas se obstruyan debido al polvo o suciedades que impedirían la normal circulación de aire a su través.

4.6.4.3. Convectores

Los convectores están formados por una batería de tubos de cobre, aleteada en aluminio y encerrada en una caja o conducto generalmente metálica. Dicha caja favorece las corrientes de convección por efecto “chimenea”, produciendo una corriente de aire que homogeneiza rápidamente la temperatura de los locales [31].

Este sistema se suele emplear para instalaciones a alta temperatura o agua sobrecalentada.

4.6.4.4. Ventilconvectores

Es un sistema similar al anterior que está constituido por una batería de tubos de cobre y aletas de aluminio por cuyo interior circula el fluido caloportador, mientras que por el lado exterior lo hace aire impulsado por un ventilador [31].

→ Fan-coils

Se emplean básicamente para acondicionamiento de aire y no para calefacción, aunque en algunas viviendas unifamiliares se puede emplear para calefacción también. Cuando son usados para calefacción, el agua está a baja o media temperatura.

Un fan-coil está formado por una batería, un ventilador centrífugo y un filtro alojados en una carcasa con rejillas de impulsión.

→ Aerotermos

Son equipos constituidos por una batería aleteada, generalmente de cobre o acero y un ventilador helicoidal que puede estar colocado antes o después de la batería. Son equipos muy compactos que emiten gran cantidad de calor por unidad de volumen, presentando gran inconveniente de ser muy ruidosos, por ello normalmente solo se emplean en instalaciones industriales.

4.6.5. Vaso de expansión

En los circuitos de agua caliente se producen variaciones en el volumen del agua debido al aumento de la temperatura [14]. Por ello es necesario incorporar un vaso de expansión, el cual es capaz de absorber dichas variaciones de volumen, manteniendo la presión del circuito dentro de los límites establecidos e impidiendo a su vez pérdidas y reposiciones de agua.

Los depósitos de expansión pueden ser tanto abiertos como cerrados, y se suelen instalar cuando el circuito de agua caliente es cerrado. Este depósito tiene una cámara de aire en su interior que está separada del agua mediante una membrana flexible. De esta forma, cuando el agua del circuito aumenta su volumen, se produce un incremento de la presión en el circuito, la cual es absorbida por el vaso de expansión. Cuando disminuye la temperatura, disminuye también el volumen de agua, con lo que el depósito devuelve el agua cedida a la instalación.

Además de los vasos de expansión, existen otros elementos para controlar las variaciones de presión en la instalación hidráulica [14]. Por tanto, también se pueden instalar válvulas reductoras de presión o válvulas de desahogo.

Asimismo, existen varios tipos de depósitos de expansión. Por un lado, pueden ser abiertos a la atmósfera, y por otro, cerrados. Los segundos a su vez se pueden dividir en dos tipos distintos. Pueden ser tanques cerrados con una cierta cantidad de agua y otra cierta cantidad de aire en su interior, existiendo una interfase aire-agua. Y también se pueden encontrar tanques de diafragma, en el que existe una membrana que separa el agua del aire, de esta forma, el aire no entra en el sistema.

4.6.6. Diseño de la red de distribución de agua caliente

Anteriormente ya se han descrito todos los elementos que componen la red hidráulica necesaria para completar el sistema de calefacción. A continuación, lo que sigue sería el dimensionamiento de cada uno de los elementos. Por ello en primer lugar se han determinado las necesidades energéticas de cada estancia de la vivienda y se han elegido los radiadores y su posición adecuada. Posteriormente se ha diseñado la red de tuberías que transporta el agua desde la caldera hasta las unidades terminales del circuito, así como todos los elementos auxiliares que esto conlleva.

Seguidamente se van a detallar todas las partes diseñadas, así como el procedimiento que se ha seguido para ello.

4.6.6.1. Determinación de la potencia de los radiadores

Para saber qué potencia van a tener los radiadores habrá que volver a las pérdidas térmicas del edificio al completo, que se calcularon anteriormente en el apartado 1. Como se conocen las pérdidas en cada una de las plantas de la casa, y a su vez se sabe el área de cada estancia, se calcularán las pérdidas por cada una de las habitaciones que componen la vivienda. En la Tabla 30 se muestran los resultados que se han obtenido.

La potencia de los radiadores deberá cubrir estas pérdidas, para así mantener la vivienda a la temperatura que se ha establecido.

Tabla 30. Pérdida térmica en cada una de las estancias

PLANTA BAJA		PLANTA ALTA	
Estancia	Potencia (W)	Estancia	Potencia (W)
Vestíbulo	2.339,76	Lavadero	5.858,85
Habitación 1	2.774,88	Vestidor	1.687,33
Habitación 2	3.230,75	Pasillo	1.041,56
Habitación 3	3.231,69	Habitación principal	4.857,84
Salón	4.434,41	BAÑOS	
Comedor	4.504,77	Estancia	Potencia (W)
Sala de estar	4.162,31	Baño planta baja	2.710,64
Patio	4.033,30	Baño planta alta	2.095,45
Cocina	4.289,33		
Escaleras	2.874,56		

Una vez conocidas las potencias que se requieren para cada estancia, se pueden buscar los radiadores a instalar. Puesto que las pérdidas son altas, la mejor decisión es utilizar paneles de acero, ya que dan una mayor potencia que los de aluminio. El fabricante elegido para ello es Baxi, pues muestra una amplia gama de radiadores y unidades terminales de varios tipos. Para la mayoría de las estancias se ha elegido el modelo ADRA 22, excepto para los baños que se han elegido paneles de acero verticales PV [55]. En el Anexo de cálculo se muestra una tabla con el modelo elegido para cada estancia, así como las características de cada radiador. Y en el Anexo de catálogos aparecen todos los detalles que ofrece el fabricante.

El fabricante proporciona información acerca de las dimensiones del radiador, la potencia térmica que suministra para una diferencia de temperatura de 50 °C [14], el peso del radiador, el volumen de agua que puede contener y el coeficiente n característico del radiador. Este coeficiente permite calcular la

potencia del radiador para otras diferencias de temperatura distintas a 50 °C de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P = P_{50} \cdot \left(\frac{\Delta T}{50}\right)^n \quad (8)$$

La diferencia de temperaturas ΔT se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta T = \frac{T_e + T_s}{2} - T_{amb} \quad (9)$$

Donde T_e es la temperatura de entrada del agua caliente al radiador, T_s es la temperatura del agua a la salida del radiador y T_{amb} es la temperatura exterior de la sala, que es de 20 °C en todas las estancias, excepto en el baño que es de 24 °C [1].

Además, todos los radiadores incluyen los soportes necesarios para su colocación, así como aquellos accesorios que se requieren para su instalación, es decir tapones, juntas y purgador.

4.6.6.2. Localización de radiadores

Una vez que se conocen todos los radiadores, habrá que buscar la situación correcta para colocarlos en cada estancia de forma que se optimice su funcionamiento. Para ello, los radiadores deben colocarse en aquellas paredes en las que hay más pérdidas para contrarrestarlas, así como a una altura y distancia determinadas del suelo y la pared de la habitación en la que se instalarán [10].

De este modo, los radiadores deben estar a 4 centímetros como mínimo de la pared en la que se instalarán, así como a 10 centímetros al menos del suelo [10]. En este caso todos los radiadores se encuentran a 4 cm de la pared y a 15 cm del suelo. Normalmente se suelen instalar en las paredes orientadas hacia el exterior, a ser posible en la parte inferior de las ventanas, ya que son las partes con más pérdidas de la vivienda. Aun así, se debe tener en cuenta el tamaño y forma de los radiadores para ver si se puede instalar en el sitio adecuado.

En algunas estancias con unas pérdidas térmicas de gran valor se han tenido que instalar más de un radiador, todos iguales, de forma que se reparte el calentamiento de la estancia y se pueden elegir modelos de menor tamaño que si solo se instalara uno.

En el Anexo donde aparecen todos los planos, se muestra en la vivienda con cada uno de los radiadores localizados en sus respectivas posiciones.

4.6.6.3. Diseño del trazado de la red de tuberías

Conocidos todos los puntos en los que se van a instalar los radiadores, se debe diseñar una red de tuberías de forma que el agua calentada por la caldera llegue hasta los mismos. Como ya se comentó anteriormente, la red de distribución puede ser monotubo o bitubo. En este caso se va a diseñar una red bitubo, debido a que el funcionamiento del sistema de calefacción es más eficiente y se asegura que el agua llegue hasta las unidades terminales a una temperatura más precisa. De esta forma, el agua caliente sale de la caldera y se lleva mediante una tubería subterránea hasta la vivienda, donde se dividirá en varias ramas de acuerdo con la organización de los radiadores. Una vez se llega a la vivienda, la tubería emerge del suelo y se colocará anclada a la pared del edificio, con su debido aislamiento térmico para evitar pérdidas de calor por la diferencia de temperatura con el ambiente.

La altura a la que se situará el recorrido de las tuberías a través de la pared exterior de la vivienda no esté elegido al azar, sino que se ha tenido en cuenta la altura de entrada del agua caliente de todos los radiadores que hay en cada una de las plantas. Teniendo esto en cuenta se han colocado a la altura a la

que hay mayor número de entradas de agua caliente en los radiadores. En el caso de la planta baja esta altura es de 724 mm para el agua caliente y 176 mm para el agua fría. Utilizando esta disposición es como menores pérdidas de carga se tienen. Asimismo, para la planta alta esta altura será de 624 mm sobre el suelo de dicha planta para el agua caliente y 176 mm sobre el suelo para el agua fría.

Todo el recorrido de las tuberías alrededor de la vivienda, así como sus conexiones con los radiadores se muestran en los Planos.

4.6.6.4. Dimensionado de las tuberías

Conocido el recorrido de cada tramo de tubería, lo siguiente sería llevar a cabo su diseño. Esto implica la elección del material a emplear, el cálculo del caudal, la velocidad de circulación del fluido, así como la búsqueda de tuberías comerciales en catálogos.

El material elegido para las tuberías es cobre, y el distribuidor que lo facilita es el grupo La Farga. Las tuberías empleadas serán unas adecuadas para sistemas de climatización, en concreto la gama Sanitub, que está formada por tubos de cobre de instalación trefilados, sin soldadura, que están compuestos por cobre puro Cu- DHP sin oxígeno. Especialmente diseñados para aplicaciones de agua caliente sanitaria, gas, calefacción y energía solar térmica [52]. Posteriormente se le instalará un material aislante para evitar las pérdidas caloríficas.

Para llevar a cabo el dimensionado de las tuberías lo primero que se tiene que conocer es el caudal de agua que circulará por las mismas. A partir del caudal de circulación se puede calcular el diámetro requerido para éste. Para ello se ha supuesto una velocidad de 0,5 m/s [32] para la circulación del agua y a través de la relación entre el caudal, la velocidad y el área transversal de la tubería se ha podido calcular un diámetro teórico.

$$D_{int} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (10)$$

Siendo Q el caudal volumétrico en m³/s que circula por la tubería y v la velocidad de circulación del fluido.

Una vez que se tiene el diámetro interno, hay que desplazarse a un catálogo comercial en el que se eligen las tuberías normalizadas adecuadas para cada tramo. Con el diámetro interno de la tubería normalizada se puede volver a calcular la velocidad real que llevará el fluido que circula por dicho conducto. Por último, se calcula el número de Reynolds para comprobar el régimen en el que circula el agua por el circuito. En el Anexo A de cálculos se muestran los resultados que se obtienen.

Por otra parte, también deben tenerse en cuenta todos los accesorios que incluye la red de tuberías, entre los que se encuentran los codos, tes, estrechamientos, válvulas, uniones de tuberías, soportes, etc. Todos estos elementos deben tenerse en cuenta en el cálculo de pérdidas de carga, que se explicará posteriormente.

→ Elementos de las tuberías

Un circuito hidráulico lleva incorporados una serie de accesorios para que el funcionamiento del mismo sea óptimo. Dentro de estos accesorios se recogen, como se mencionó anteriormente, codos, tes o cualquier cambio de dirección o diámetro, válvulas, uniones, filtros o soportes. Algunos de estos elementos se abordan en el cálculo de las pérdidas de carga del sistema, pero otros hay que tratarlos individualmente.

• Uniones

Las uniones de las tuberías pueden ser de distintos tipos: mediante bridas, con sistemas roscados, a través de soldadura o termofusión, uniones ranuradas, uniones push-fitting o uniones press-fitting. En el caso del cobre, las aconsejadas son las uniones embridadas, roscadas, soldadas o ranuradas [33].

Si se hace un estudio de las características de cada tipo de unión, las que mayores ventajas tienen son las uniones soldadas. Además, una de las principales ventajas que tienen las tuberías de cobre de temple rígido es que permite las conexiones soldadas. Este sistema elimina la necesidad de usar accesorios extras u otras herramientas. En concreto el mejor método para llevar a cabo las uniones soldadas es la soldadura capilar, que consiste en usar el fenómeno de la capilaridad para llevar a cabo la unión. Para poder unir los tubos mediante soldadura, es necesario que las conexiones sean soldables y del mismo material que todas las tuberías [35].

• Soportes

Para sujetar las tuberías y guiarlas a través de una estructura es necesario la colocación de soportes. Existen tres tipos dependiendo de la función que tengan:

- De suspensión, que solo tienen la función de soportar el peso del conducto.
- De guía, que además de soportar el peso tiene la función de guiar la tubería durante los movimientos de dilatación y contracción.
- Anclaje, que además de realizar las funciones de los anteriores, también soportan los esfuerzos axiales que ejercen los compensadores de dilatación.

En este caso se deben elegir anclajes, ya que las tuberías llevan agua caliente y por tanto pueden sufrir dilataciones. Para compensarlas se van a instalar liras. Dichos anclajes solo se colocarán en las tuberías que circulan por el exterior de la casa a través de la pared exterior.

Las distancias entre soportes vienen definidas por la normativa aplicable, como bien se indica en la Tabla 31, con lo que solo basta con conocer el diámetro de la tubería y existen valores normalizados para conocer la distancia entre dos soportes.

Tabla 31. Distancia entre soportes en las tuberías de cobre [15]

D_{ext} (mm)	Distancia (m)	Tensión (MPa)	Pendiente (mm/m)
10	1,0	7,4	5,0
12	1,1	7,3	4,5
15	1,2	7,3	4,1
18	1,3	7,3	3,7
22	1,4	7,5	3,4
28	1,6	7,4	3,0
35	1,7	7,9	2,8
42	1,9	8,1	2,6

En cuanto al tipo de soporte que se va a usar, se elegirán unos soportes especiales para tuberías aisladas, que permiten su fijación a la pared de forma adecuada. El distribuidor elegido es Salvador Escoda y los soportes están preparados para que las dos tuberías (agua de ida y retorno) vayan juntas y puedan ser fijadas a la pared. En la Figura 59 se muestra la estructura que tiene dicho soporte.



Figura 59. Soporte para fijación de tuberías aisladas a la pared [56]

• Válvulas

Ya se ha explicado anteriormente los tipos de válvulas que hay y las funciones que tienen cada una de ellas. Por ello, ahora solo queda definir la localización que van a tener en el circuito.

- Válvulas de corte: en el sistema hay numerosas válvulas de este tipo. En cada radiador hay dos, una en la tubería de agua caliente y otra en la de agua fría. En las bombas también hay una en la aspiración y otra en la impulsión de la misma. Asimismo, también se pueden encontrar en más puntos del circuito, tal y como refleja el plano de la red hidráulica. Éstas pueden ser válvulas de bola, de mariposa, de compuerta o de diafragma. En este caso la mayoría son de bola, aunque también hay algunas de mariposa. Su principal función es aislar partes del circuito para llevar a cabo labores de mantenimiento.
- Válvulas de regulación: éstas se usan principalmente en los radiadores, aunque ya las traen incorporadas. Tienen como función regular el caudal de agua que entra al radiador para así conseguir la potencia térmica deseada.
- Válvulas de retención: en este sistema se encuentran en la impulsión de la bomba para impedir que el agua vuelva hacia atrás debido al efecto de las diferencias de presión.
- Válvulas reguladoras de presión: se emplean para llevar a cabo el equilibrado del sistema, lo que se explicará más adelante.

Todas las válvulas que se van a emplear se van a elegir del catálogo de Salvador Escoda, ya que ofrece una amplia gama adecuada para este caso. En el Anexo D se encuentran todos los catálogos con las características y medidas de cada válvula.

• Filtros y purgadores

Los filtros y purgadores tienen la función de eliminar aquellas sustancias indeseadas del circuito. Por un lado, los filtros eliminan las partículas o impurezas que pueda contener el agua. Por otro lado, los purgadores sirven para eliminar las burbujas de vapor que puedan generarse en la red hidráulica.

Los filtros van colocados justo delante de la bomba, en la tubería de aspiración, para así evitar que entren partículas indeseadas en la misma y así aumentar su vida útil. Tienen forma de Y y se obtendrán del distribuidor Salvador Escoda.

Los purgadores están localizados en los radiadores. Cada uno trae ya incorporado el suyo, por lo que no es necesario su diseño, pues el distribuidor de radiadores lo proporciona.

• Dilatadores

Como se explicó en el apartado 7.3.2., las tuberías se dilatan debido a los cambios de temperatura, con lo que es mejor ser conservadores y llevar a cabo un cálculo de la longitud que puede llegar a dilatarse y diseñar la instalación de compensadores de dilatación. Para saber la longitud que se puede dilatar un conducto se emplea la siguiente expresión:

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \quad (11)$$

En donde se tiene que α es el coeficiente de dilatación, que para el cobre es de 0,0165 mm/(m·°C), ΔT es la diferencia de temperaturas entre el interior de la tubería y la temperatura ambiente y L es la longitud del tramo de tubería considerado.

La longitud dilatada se ha calculado para cada tramo del circuito y los resultados obtenidos se recogen en el Anexo A.

• Aislamiento térmico

Se ha explicado anteriormente la existencia de dos métodos para la determinación del espesor necesario para el aislamiento térmico de un conducto. En este caso se va a emplear el método simplificado, y posteriormente se va a comprobar si el calor emitido con aislante es menor al 4% del que se emitía cuando la tubería estaba desnuda [5].

Para calcular el calor emitido antes y después de instalar el aislamiento en la tubería se van a emplear las ecuaciones de transmisión de calor que se establecen en la norma UNE-EN ISO 12241. En primer lugar, se necesitan conocer una serie de datos, como son el diámetro externo del conducto, la temperatura del fluido, la del ambiente, la velocidad del aire, la conductividad térmica del material, los factores de convección, la situación de la superficie y la resistencia térmica del material. A partir de estos datos iniciales se van a obtener el espesor, el calor perdido con y sin el aislante y las pérdidas totales en la red [16].

El calor que se pierde sin aislante térmico viene dado por la ecuación (12) y con aislante se puede emplear la misma ecuación, pero habrá que añadir la resistencia de la conducción del material aislante.

$$\frac{q}{H} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{\left(\frac{1}{2\pi r_{int} h_{cv,int}} + \sum_{\text{capas material}} \frac{\ln\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)}{2\pi k_i} + \frac{1}{2\pi r_{ext} h_{convrad,ext}} \right)} \quad (12)$$

Se tiene que q es el calor emitido, H es la longitud de la tubería, T_{int} es la temperatura en el interior de la tubería, T_{ext} es la temperatura ambiental, r_{int} es el radio interior de la tubería, $h_{cv,int}$ es el factor de convección en el interior del conducto, k_i es la conductividad térmica del material que se trate y $h_{convrad,ext}$ es el factor de convección y radiación en el exterior.

Los resultados obtenidos de espesor de aislante se reflejan en la Tabla 32.

Tabla 32. Espesor mínimo de aislamiento de las tuberías del circuito [5]

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima (°C)	Espesor de aislamiento tuberías en el interior (mm)	Espesor de aislamiento tubería en el exterior (mm)
$D \leq 35$	60 – 100	25	35

→ Pérdidas de carga en el circuito

Una vez que se conoce el trazado completo de la instalación se puede proceder al cálculo de las pérdidas de carga que hay en el sistema, lo cual se utilizará posteriormente para la elección de los equipos de impulsión del sistema.

En este caso el método que se ha seguido para el cálculo de las pérdidas de presión en los accesorios del sistema es el de los coeficientes de pérdidas de carga, K_i , y también se han calculado las pérdidas de

carga en el sistema debido al rozamiento de las tuberías. Para ello se han empleado las siguientes ecuaciones:

$$\Delta P = \frac{v^2}{2} \cdot \rho \cdot K_i \quad (13)$$

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad (14)$$

Donde se tiene que ΔP es la pérdida de presión en Pa, v es la velocidad de circulación del fluido por el interior del conducto, ρ es la densidad del fluido, K_i es el coeficiente de pérdida de carga del elemento que se esté considerando, f es el factor de fricción, L es la longitud del conducto y D es el diámetro interno de la tubería.

En el Anexo A de cálculos se indican todos los valores que toman estas pérdidas de carga, así como los accesorios que están incluidos en el circuito. En la Tabla 33 aparece un resumen de todas las características del sistema.

Tabla 33. Pérdidas de carga en el sistema

	ΔP (Pa)	ΔP (m.c.a.)
Radiadores	704,132	0,073
Planta baja	76.237,463	7,96
Planta alta	33.145,865	3,46
Sala de calderas	1.220,631	0,13
TOTAL	111.308,091	11,623

4.6.6.5. Elección de las bombas

En un circuito hidráulico tienen lugar una serie de pérdidas de carga que hacen que baje la presión, con lo que habrá que colocar una bomba que además de impulsar el agua a todas las partes del circuito, se capaz de cubrir esas pérdidas de presión que se producen.

Para elegir una bomba adecuada se debe conocer el caudal que debe suministrar, así como la altura que tiene que vencer. Para el cálculo de las pérdidas de carga a vencer por la bomba, se empleará la suma de las pérdidas de carga del tramo más desfavorable, incluyendo accesorios. Además, habrá que tener presente también las pérdidas en intercambiadores de calor, generadores y unidades terminales [37]. La altura que debe suministrar la bomba viene dada por la siguiente expresión:

$$\Delta H = \frac{P_f - P_i}{\rho g} + (z_f - z_i) + \frac{1}{2\rho g} (v_f^2 - v_i^2) + h_f \quad (15)$$

Siendo P_f la presión del tramo final considerado, P_i la presión del principio del tramo considerado, z_f la altura final, z_i la altura inicial, ρ la densidad del agua en las condiciones de trabajo, g la gravedad, v_f la velocidad final que lleva el fluido, v_i la velocidad que lleva el agua al principio y h_f las pérdidas de carga debido a la fricción y a los accesorios del circuito. El resultado obtenido aparece en la Tabla 34:

Tabla 34. Datos para la selección de la bomba de impulsión

Caudal (m³/h)	P _i (Pa)	P _f	H _f	H _b (m.c.a.)
0,978	215.019,05	174.373,96	19.373,96	1,93

Una vez conocidas la altura que debe dar la bomba, así como el caudal de agua a suministrar, habrá que ir a los catálogos comerciales y elegir un modelo de la bomba, y a partir de sus curvas características determinar las condiciones originales de trabajo.

El modelo elegido es Calio S de la marca KSB, la cual es una bomba especial para climatización, útil tanto para ser instalada en el circuito principal como en alguno auxiliar. Es de pequeñas dimensiones, y sirve tanto para agua de calefacción como fluidos con más viscosidad. Da una altura máxima de 6 metros y un caudal máximo de 3,5 m³/h [53]. Todas sus especificaciones se recogerán en el Anexo D de datos técnicos de los equipos y las curvas características y el procedimiento seguido hasta su selección se muestran en el Anexo A de cálculos. En la siguiente figura se puede ver la bomba elegida.

**Figura 60. Bomba Calio S empleada para la impulsión de agua en la red de distribución [53]**

Otro dato importante será la altura neta positiva disponible, que debe ser mayor que cero para que la bomba no cavite. Para calcularlo se emplea la siguiente expresión:

$$NSPH_d = \frac{P_s - P_v}{\rho g} + z_s + \frac{1}{2g} v_s^2 - h_{f\text{sal-asp}} \quad (16)$$

Donde P_s es la presión a la salida de la caldera, P_v es la presión de vapor del agua a la temperatura de trabajo, z_s es la altura a la que sale el agua de la caldera, v_s es la velocidad que lleva el agua a la salida de la caldera y h_{f_{sal-asp}} son las pérdidas de carga que hay entre la salida del agua de la caldera y la aspiración de la bomba. En este caso se obtiene un valor mayor de cero, por lo que la bomba no va a cavitarse.

Por último, en la Tabla 35 quedan reflejadas las características del sistema y de la bomba empleada. Hay que añadir que se instalará una bomba más en paralelo para el caso en que la bomba principal falle, y así el sistema seguirá funcionando con normalidad.

Tabla 35. Características de funcionamiento de la bomba elegida

Caudal teórico (m³/h)	Caudal real (m³/h)	Altura teórica (m)	Altura real (m)	NSPH _d (m)	Potencia (W)
0,98	1,08	1,93	2,35	18,42	23

4.6.6.6. Vaso de expansión

Ya se había comentado anteriormente la necesidad de instalar un depósito de expansión en el sistema, para así compensar las diferencias de presión que puedan existir. Para llevar a cabo su dimensionamiento existen una serie de ecuaciones definidas por la normativa aplicable. En primer lugar, habrá que definir unos coeficientes, C_e y C_p que dependerán de la temperatura y la presión respectivamente del sistema [17]. El primero es el coeficiente de expansión y dependiendo de la temperatura del sistema se usará una expresión u otra para calcularlo. En este caso se empleará una expresión apta para temperaturas comprendidas entre 30 y 120 °C. El segundo coeficiente es el de presión y para calcularlo hay que tener en cuenta si el vaso de expansión tendrá diafragma o no. En este caso lo tendrá, por lo que habrá que emplear la ecuación adecuada.

$$C_e = (3,24t^2 + 102,13t - 2708,3) \cdot 10^{-6} \quad (17)$$

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} \quad (18)$$

Donde t es la temperatura del sistema en °C, P_M es la presión máxima del sistema y P_m es la presión mínima en el vaso.

Para calcular el volumen del vaso de expansión se requiere conocer además el volumen de agua que hay en la instalación. Una vez conocido solo basta con sustituir en la siguiente expresión:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p \quad (19)$$

Para el cálculo del volumen de agua del sistema se tiene en cuenta que en un radiador de panel de acero caben 11 L/kW [54], y el volumen de las tuberías se calcula considerando que éstas son un cilindro.

La presión mínima en el vaso tiene que ser tal que se eviten los fenómenos de cavitación en la bomba. La presión máxima será ligeramente menor a la presión de tarado de la válvula de seguridad, que a su vez será menor a la presión máxima de trabajo. Para su determinación, se elige el valor menor de estos:

$$P_M = 0,9P_{vs} + 1 \quad (20)$$

$$P_M = P_{vs} + 0,65 \quad (21)$$

En este caso, el valor menor es el que da la Ecuación 20, que tiene un valor de 10 bar. En la Tabla 36 se muestran los resultados obtenidos tras el cálculo siguiendo el procedimiento descrito.

Tabla 36. Cálculo del volumen del vaso de expansión

T (°C)	P _{vs} (bar)	V _{red} (L)	P _M (bar)	P _m (bar)	C _e	C _p	V _t (L)
75	3	645,09	3,65	2	0,023	2,21	33,07

Teniendo en cuenta las características que debe cumplir, se busca un catálogo en el que exista un modelo adecuado. El elegido es del fabricante Baxi, y el modelo es Vasoflex. En la Tabla 37 se reflejan las características del vaso de expansión elegido y en la Figura 61 se puede ver dicho depósito de expansión.



Figura 61. Vaso de expansión Vasoflex [57]

Tabla 37. Características del vaso de expansión elegido [57]

Modelo	P_{vs} (bar)	V (L)	P_M (bar)	T_{max} (°C)	$P_{llenado}$ (bar)	Peso (kg)
Vasoflex 35	3	35	3,65	110	1	6,5

Otro aspecto importante que se debe llevar a cabo en el diseño de la red es la posición del depósito de expansión. Se van a estudiar las consecuencias de la presión tanto si el vaso se coloca en la aspiración como en la impulsión de la bomba [34]. En el primer caso la bomba tendrá una presión similar a la de llenado y la caldera se someterá a variaciones de presión. En cambio, si se coloca en la impulsión, la caldera puede funcionar a presiones uniformes, pero solo es recomendable este caso si se asegura la no presencia de cavitación. Por tanto, por motivos de seguridad, el vaso de expansión se instalará en la aspiración de la bomba.

4.6.6.7. Equilibrado del sistema hidráulico

Para que un sistema de calefacción funcione correctamente, a cada radiador le debe llegar la cantidad de agua que requiere para dar la potencia térmica para la que ha sido diseñado. La única forma de conseguir que esto suceda es llevar a cabo un equilibrado del sistema. Un circuito está equilibrado si los terminales funcionan correctamente, todas las unidades terminales les llegan el caudal para el que fueron diseñados, se evitan velocidades elevadas para que no haya ruido, se asegura el buen funcionamiento de las bombas y se limitan las presiones diferenciales que actúan sobre las válvulas de regulación [32].

Normalmente, el agua tiende a circular por donde menor pérdida de carga haya, por lo que no llegaría bien a los radiadores más alejados. Para evitar que esto suceda se lleva a cabo el equilibrado del sistema, que se puede hacer mediante tres vías distintas. La primera es diseñando un circuito que esté equilibrado naturalmente, haciendo que cada tramo tenga la misma pérdida de carga aproximadamente. La segunda y tercera forma es equilibrar mediante válvulas, que pueden ser de equilibrado estático o dinámico.

De acuerdo con la distribución de esta instalación, las pérdidas de carga no están equilibradas, con lo que habrá que instalar un método de equilibrado mediante válvulas. El más adecuado es empleando válvulas de equilibrado dinámico, ya que éstas consiguen un caudal constante en los circuitos hidráulicos mediante un sistema que compensa las variaciones que puedan existir en la instalación. Estas válvulas mantienen constantes los caudales y ajustan las pérdidas de carga necesarias para mantener el caudal, incluso con presiones variables. Además, permite predecir los caudales reales de trabajo para hacer una selección de las bombas óptimas.

Por tanto, se van a instalar una serie de válvulas de equilibrado en las distintas partes del circuito. Su localización se muestra en el Plano del Anexo.

En cuanto al modelo elegido, va a depender de la localización que tenga. Los radiadores ya la traen incorporada, por tanto, solo habrá que elegir las de los ramales principales, las cuales se sacaran del catálogo de Salvador Escoda, al igual que el resto de válvulas. Sus características se verán en el anexo de los catálogos y su posición en el plano correspondiente al circuito completo.

5. RESULTADOS FINALES

Ya se ha estudiado en el apartado anterior cada elemento que compone la instalación de calefacción, tanto los distintos requisitos que tenían que cumplir, como las alternativas estudiadas hasta llegar a la solución final, pero a modo de resumen se va a hacer una relación de la solución elegida finalmente:

- ◆ Elección de una caldera de biomasa policomcombustible Biocalora KP Serie 2 62, con una potencia nominal de 61 kW, que empleará como combustible hueso de aceituna tratado.
- ◆ Uso de hueso de aceituna tratado, distribuido a granel por Olihueso S.L. y llenado del silo mediante descarga neumática para evitar pérdidas o ambiente pulverulento
- ◆ Almacén de obra de 15 m³ con suelo inclinado para guardar el combustible y suministrarlo a la caldera mediante transportador sinfín.
- ◆ Sala de calderas con las dimensiones y espacios reglamentarios para situar la caldera y todos los equipos auxiliares, situada de la vivienda a una distancia suficiente para cumplir la normativa de conductos de evacuación de humos.
- ◆ Chimenea distribuida por Dinak, de doble pared y especial para la evacuación de humos de la combustión de biomasa.
- ◆ Sistema hidráulico compuesto por tuberías de cobres del Grupo La Farga, paneles de acero Baxi como elementos de emisión del calor, bomba centrífuga doméstica proporcionada por KSB, un vaso de expansión Baxi y todos los elementos auxiliares que se necesitan, tales como válvulas, contadores, dilatadores, etc. suministrados por Salvador Escoda.

Como se puede comprobar, todos los elementos se han descrito y definido completamente, tanto sus características como el lugar para su adquisición.

La adopción de un sistema de biomasa hará que la vivienda cuente con un sistema de calefacción eficiente y sin emisiones de CO₂. El único impacto que tendrá la operación de la instalación serán las cenizas que produce la caldera, la cuales son mínimas y se pueden luego usar como abono, por lo que no supone un problema realmente.

Debido a la gran extensión que tiene en la actualidad la biomasa, se ha contado con la documentación e información adecuada para el diseño de esta instalación, y además la distribución de los productos necesarios para la operación del sistema se puede asegurar, debido a la abundancia que hay en Andalucía de biomasa a partir de residuos agroindustriales como son los deshechos de la elaboración del aceite de oliva. Por tanto, el funcionamiento de una calefacción con biomasa se puede asegurar durante toda la temporada de frío.

En definitiva, este proyecto pretende formar un estudio completo de todos los detalles que hacen posible que un sistema de calefacción doméstico funcione. Se ha desarrollado con el mayor grado de detalle posible, y siendo conservadores para evitar posibles errores de cálculo que pueden desencadenar fallos en la ejecución. Queda ya en manos del usuario el uso adecuado del sistema para que funcione de acuerdo a lo establecido en el diseño.

ANEXO A: CÁLCULOS

En este apartado se van a explicar detalladamente todos los cálculos que se han llevado a cabo para el diseño de toda la instalación de calefacción.

1. Cálculo de la carga térmica

Para poder saber la carga térmica que tiene cada estancia de la vivienda, habrá que calcular previamente los valores de la transmitancia de cada elemento del edificio. Los datos que se requieren para llevar a cabo dicho cálculo aparecen en las Tablas A., A.2 y A.3.

Tabla A.1. Datos de los materiales y resistencias de las superficies (entre el aire y las estructuras) [4, 5]

Conductividad de los materiales		
Código del material	Descripción	λ W/m·K
1	Hormigón	1,75
2	Yeso	0,35
3	Enlucido de yeso	0,50
4	Ladrillo hueco	0,80
5	Grava	0,70
6	Madera	0,15
7	Roca natural, sedimentaria	2,30
8	Compuesto metálico	0,12
9	Mármol	3,50
10	Hormigón armado	2,40
Resistencias de las superficies		
Código del material	Descripción	R_{si} o R_{se} m ² ·K/W
11	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)	0,13
12	Resistencia de la superficie exterior (flujo térmico horizontal)	0,04
13	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico ascendente)	0,10
14	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico descendente)	0,17

Tabla A.2. Cálculo de la transmitancia térmica de cada elemento del edificio [1]

Cálculo de los valores U de los elementos del edificio						
Códigos		Descripción	d	λ	R	U _k
Elemento	Material					
1	Muro exterior					1,486
	11	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)			0,130	
	2	Yeso	0,050	0,350	0,143	
	7	Roca natural, sedimentaria	0,450	2,300	0,196	
	2	Yeso	0,050	0,350	0,143	
	12	Resistencia de la superficie exterior (flujo térmico horizontal)			0,040	
	Espesor total y U _k			0,550	0,673	
2	Separación interior					2,397
	11	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)			0,130	
	2	Yeso	0,010	0,350	0,029	
	4	Ladrillo hueco	0,080	0,800	0,100	
	2	Yeso	0,010	0,350	0,029	
	12	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)			0,130	
	Espesor total y U _k			0,100	0,417	
3	Separación interior					1,845
	11	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)			0,130	
	2	Yeso	0,010	0,350	0,029	
	4	Ladrillo hueco	0,180	0,800	0,225	
	2	Yeso	0,010	0,350	0,029	
	12	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)			0,130	
	Espesor total y U _k			0,200	0,542	
4	Puerta interior					1,376
	11	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)			0,130	
	6	Madera	0,070	0,150	0,467	
	11	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)			0,130	
Espesor total y U _k			0,070	0,727		
5	Puerta exterior					0,544
	11	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)			0,130	
	6	Madera	0,250	0,150	1,667	
	12	Resistencia de la superficie exterior (flujo térmico horizontal)			0,040	
Espesor total y U _k			0,250	1,837		
6	Ventana					2,100
	Espesor total y U _k			--	--	

Tabla A.3. Cálculo de la transmitancia térmica de cada elemento del edificio [1]

Cálculo de los valores U de los elementos del edificio					Hoja 2 de 2	
Códigos		Descripción	d	λ	R	U _k
Elemento	Material		m	W/m·K	m²·KW	W/m²·K
7	Techo planta baja					
	13	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico ascendente)			0,100	2,102
	2	Yeso	0,020	0,350	0,057	
	1	Hormigón	0,160	1,750	0,091	
	2	Yeso	0,020	0,350	0,057	
	14	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico descendente)			0,170	
	Espesor total y U _k		0,200	0,476		
8	Techo planta alta					
	13	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico ascendente)			0,100	2,941
	2	Yeso	0,020	0,350	0,057	
	1	Hormigón	0,150	1,750	0,086	
	2	Yeso	0,020	0,350	0,057	
	14	Resistencia de la superficie exterior (flujo térmico descendente)			0,040	
	Espesor total y U _k		0,190	0,340		
9	Suelo planta baja					
	14	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico descendente)			0,170	1,563
	9	Mármol	0,040	3,500	0,011	
	10	Hormigón armado	1,100	2,400	0,458	
	Espesor total y U _k		1,140	0,640		

El valor R que aparece en la Tabla 3 se calcula como el cociente entre el espesor y la conductividad térmica. Asimismo, el valor de U_k se calcula con la siguiente expresión:

$$U_k = 1 / \sum R_i \quad (1 - 1)$$

Donde $\sum R_i$ es la suma de todas las resistencias que forman el elemento del edificio.

Conocidos los valores de U_k , se puede proceder a calcular las pérdidas térmicas tanto por transmisión, ventilación y la capacidad de calentamiento del espacio calentado. Todo este procedimiento se detalla en las Tablas A.4, A.5 y A.6 que se muestran a continuación:

Tabla A.4. Cálculo simplificado de la carga térmica de diseño de la planta baja de la casa rural [1]

CÁLCULO SIMPLIFICADO DE LA CARGA TÉRMICA TOTAL (Planta Baja)					
Datos de temperatura					
Temperatura exterior de diseño		θ_e	°C	-4,1	
Temperatura interior de diseño		$\theta_{int,i}$	°C	20	
Diferencia de temperatura de diseño		$\theta_{int,i}-\theta_e$	°C	24,1	
Pérdidas térmicas por transmisión					
Código	Elemento del edificio	f_k	A_k	U_k	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$
		p.u.	m²	W/m²·K	W/K
1	Muro exterior planta baja (no aislado, al aire)	1,40	162,25	1,49	337,54
6	Ventanas	1,00	15,03	2,10	31,56
5	Puerta exterior	1,00	5,94	0,86	5,08
9	Suelo planta baja	1,26	192,14	1,56	378,40
7	Techo planta baja	1,26	192,14	2,01	485,65
2	Muro interior no aislado (baño)	1,12	14,35	2,40	38,52
1	Muro interior no aislado (0,55 m)	1,12	4,08	1,49	6,79
Coeficiente de pérdida térmica por transmisión total		$H_{T,i}=\Sigma f_k \cdot A_k \cdot U_k$		W/K	1.283.54
Pérdida térmica por transmisión total		$\varphi_{T,i}=H_{T,i} \cdot (\theta_{int,i}-\theta_e)$		W	30.933,40
Pérdidas térmicas por ventilación					
Volumen interior (vivienda)		V_i		m³	488,91
Volumen interior (cocina)		V_i		m³	63,64
Índice de renovación mínima de aire (vivienda)		n_{min}		h⁻¹	0,5
Índice de renovación mínima de aire (cocina)		n_{min}		h⁻¹	1,5
Coeficiente de pérdida térmica por ventilación total		$H_{V,i}=0,34 \cdot V_i \cdot n_{min}$		W/K	115,5711
Pérdida térmica por ventilación total		$\varphi_{V,i}=H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i}-\theta_e)$		W	2.785,26
Pérdida térmica de diseño por transmisión y ventilación		$\varphi_i=\varphi_{V,i}+\varphi_{T,i}$		W	33.718,67
Capacidad de calentamiento					
Superficie del suelo		A_i		m²	165,93
Factor de recalentamiento		f_{RH}		W/m²	13
Capacidad de calentamiento total		$\varphi_{RH,i}=A_i \cdot f_{RH}$		W	2.157,09
Carga térmica de diseño total		$\varphi_{HL,i}=\varphi_{T,i}+\varphi_i$		W	35.875,76

Tabla A.5. Cálculo simplificado de la carga térmica de diseño de la planta alta de la casa rural [1]

CÁLCULO SIMPLIFICADO DE LA CARGA TÉRMICA TOTAL (Planta alta)					
Datos de temperatura					
Temperatura exterior de diseño		θ_e	°C	-4,1	
Temperatura interior de diseño		$\theta_{int,i}$	°C	20	
Diferencia de temperatura de diseño		$\theta_{int,i}-\theta_e$	°C	24,1	
Pérdidas térmicas por transmisión					
Código	Elemento del edificio	f_k p.u.	A_k m ²	U_k W/m ² ·K	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$ W/K
1	Muro exterior planta alta (no aislado, al aire)	1,40	118,73	1,49	247,00
6	Ventanas	1,00	3,77	2,10	7,92
4	Puerta interior	1,00	2,76	0,54	1,50
7	Techo planta alta	1,26	60,71	2,01	153,44
2	Muro interior no aislado (baño)	1,12	23,70	2,40	63,63
3	Muro interior no aislado (terraza)	1,12	15,02	1,85	31,04
4	Puerta interior	1,40	2,47	1,08	3,73
Coeficiente de pérdida térmica por transmisión total		$H_{T,i}=\Sigma f_k \cdot A_k \cdot U_k$		W/K	508,24
Pérdida térmica por transmisión total		$\phi_{T,i}=H_{T,i} \cdot (\theta_{int,i}-\theta_e)$		W	12.248,61
Pérdidas térmicas por ventilación					
Volumen interior		V_i		m ³	145,56
Índice de renovación mínima de aire		n_{min}		h ⁻¹	0,5
Coeficiente de pérdida térmica por ventilación total		$H_{V,i}=0,34 \cdot V_i \cdot n_{min}$		W/K	24,75
Pérdida térmica por ventilación total		$\phi_{V,i}=H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i}-\theta_e)$		W	596,36
Pérdida térmica de diseño por transmisión y ventilación		$\phi_i=\phi_{V,i}+\phi_{T,i}$		W	12.844,97
Capacidad de calentamiento					
Superficie del suelo		A_i		m ²	46,20
Factor de recalentamiento		f_{RH}		W/m ²	13
Capacidad de calentamiento total		$\phi_{RH,i}=A_i \cdot f_{RH}$		W	600,60
Carga térmica de diseño total		$\phi_{HL,i}=\phi_{T,i}+\phi_i$		W	13.445,57

Tabla A.6. Cálculo simplificado de la carga térmica de diseño del baño de la casa rural

CÁLCULO SIMPLIFICADO DE LA CARGA TÉRMICA TOTAL (Baños)					
Datos de temperatura					
Temperatura exterior de diseño		θ_e	°C	-4,1	
Temperatura interior de diseño		$\theta_{int,i}$	°C	24	
Diferencia de temperatura de diseño		$\theta_{int,i}-\theta_e$	°C	28,1	
Pérdidas térmicas por transmisión					
Código	Elemento del edificio	f_k p.u.	A_k m ²	U_k W/m ² ·K	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$ W/K
1	Muro exterior planta baja (aislado, al aire)	1,40	33,02	1,49	68,69
6	Ventanas	1,00	2,88	2,10	6,05
5	Puerta interior	1,40	3,42	1,38	6,59
9	Suelo planta baja	1,26	9,72	1,56	19,14
7	Techo planta baja	1,26	8,00	2,01	20,22
8	Techo planta alta	1,26	7,40	2,94	27,42
Coeficiente de pérdida térmica por transmisión total		$H_{T,i}=\Sigma f_k \cdot A_k \cdot U_k$		W/K	148,11
Pérdida térmica por transmisión total		$\varphi_{T,i}=H_{T,i} \cdot (\theta_{int,i}-\theta_e)$		W	4.161,98
Pérdidas térmicas por ventilación					
Volumen interior		V_i		m ³	35,13
Índice de renovación mínima de aire		n_{min}		h ⁻¹	1,50
Coeficiente de pérdida térmica por ventilación total		$H_{V,i}=0,34 \cdot V_i \cdot n_{min}$		W/K	17,92
Pérdida térmica por ventilación total		$\varphi_{V,i}=H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i}-\theta_e)$		W	503,45
Pérdida térmica de diseño por transmisión y ventilación		$\varphi_i=\varphi_{V,i}+\varphi_{T,i}$		W	4.665,43
Capacidad de calentamiento					
Superficie del suelo		A_i		m ²	10,2
Factor de recalentamiento		f_{RH}		W/m ²	13,00
Capacidad de calentamiento total		$\varphi_{RH,i}=A_i \cdot f_{RH}$		W	140,66
Carga térmica de diseño total		$\varphi_{HL,i}=\varphi_{T,i}+\varphi_i$		W	4.806,09

2. Diseño del sistema hidráulico

1.1. Determinación de la potencia y elección de radiadores

Como se ya se ha explicado en la memoria, la potencia de los radiadores se ha extraído a través de las pérdidas térmicas de la vivienda. A partir de esos valores se han podido elegir los modelos adecuados de radiadores, así como el número de cada uno de ellos que se va a instalar. En la siguiente tabla se muestran todas las características de los radiadores que hay en cada una de las estancias.

Tabla A.7. Radiadores de cada una de las estancias

Estancia	Potencia requerida (W)	Modelo	Potencia $\Delta T50$ (W)	Caudal de agua (L/s)	Dimensiones (Alto/largo) (mm)
Vestíbulo	2.339,76	ADRA 22 600 S 800	2x1.318	0,013	600 / 800
Habitación 1	2.774,88	ADRA 22 700 S 1500	2.790	0,013	700/1.500
Habitación 2	3.230,75	ADRA 22 600 S 2100	3.459	0,017	600/2.100
Habitación 3	3.231,69	ADRA 22 600 S 2100	3.459	0,017	600/2.100
Salón	4.434,41	ADRA 22 700 S 1200	2x2.232	0,011	700/1.200
Comedor	4.504,77	ADRA 22 600 S 1500	2x2.471	0,012	600/1.500
Sala de estar	4.162,31	ADRA 22 500 S 1500	2x2.129	0,010	500/1.500
Patio	4.033,30	ADRA 22 700 S 1100	2x2.046	0,010	700/1.100
Cocina	4.289,33	ADRA 22 700 S 1200	2x2.232	0,011	700/1.200
Escaleras	2.874,56	ADRA 22 700 S 800	2x1.488	0,014	700 / 800
Lavadero	5.858,85	ADRA 22 500 S 2100	2x2.980	0,014	500/2.100
Vestidor	1.687,33	ADRA 22 500 S 1200	1.703	0,008	500/1.200
Pasillo	1.041,56	ADRA 22 400 S 900	1.058	0,005	400 / 900
Habitación principal	4.857,84	ADRA 22 600 S 1500	2x2.471 ¹¹	0,012	600/1.500
Baño planta baja	2.710,64	PV 600 S 1500	2x1.504	0,007821	1500 / 600
Baño planta alta	2.095,45	PV 600 S 1801	2x1.147	0,00596	1800 / 400

Para calcular el caudal de agua que circula por cada radiador se ha empleado la siguiente expresión:

$$P = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Donde \dot{m} es el caudal másico de agua que circula por el radiador en kg/s, C_p es la capacidad calorífica del agua, que tiene un valor de 4,18 kJ/(kg °C) y ΔT es la diferencia de temperaturas media.

1.2. Dimensionado de las tuberías

Previamente al dimensionado de las tuberías, se debe conocer el recorrido que seguirán las mismas y el caudal que llevarán. Conocidos estos datos se puede proceder a la determinación de las características de las mismas.

1.2.1. Planta baja

La Figura A.1 muestra la distribución que tendrán los radiadores y los conductos de unión de los mismos en toda la planta baja. Los números en rojo representan la denominación que se le ha dado a cada unión desde la red principal de distribución de agua hasta la entrada de agua caliente del radiador. Al igual,

¹¹ ΔT para los baños es de 46 °C, ya que la temperatura exterior de diseño en este caso es de 24 °C.

los números en color azul representan la unión desde la salida del agua fría del radiador hasta la red principal. Asimismo, los radiadores se han numerado para poder identificarlos.

En las Tablas A.8 y A.9 aparecen todas las características de las tuberías tanto de unión con los radiadores como cada tramo de la red principal.

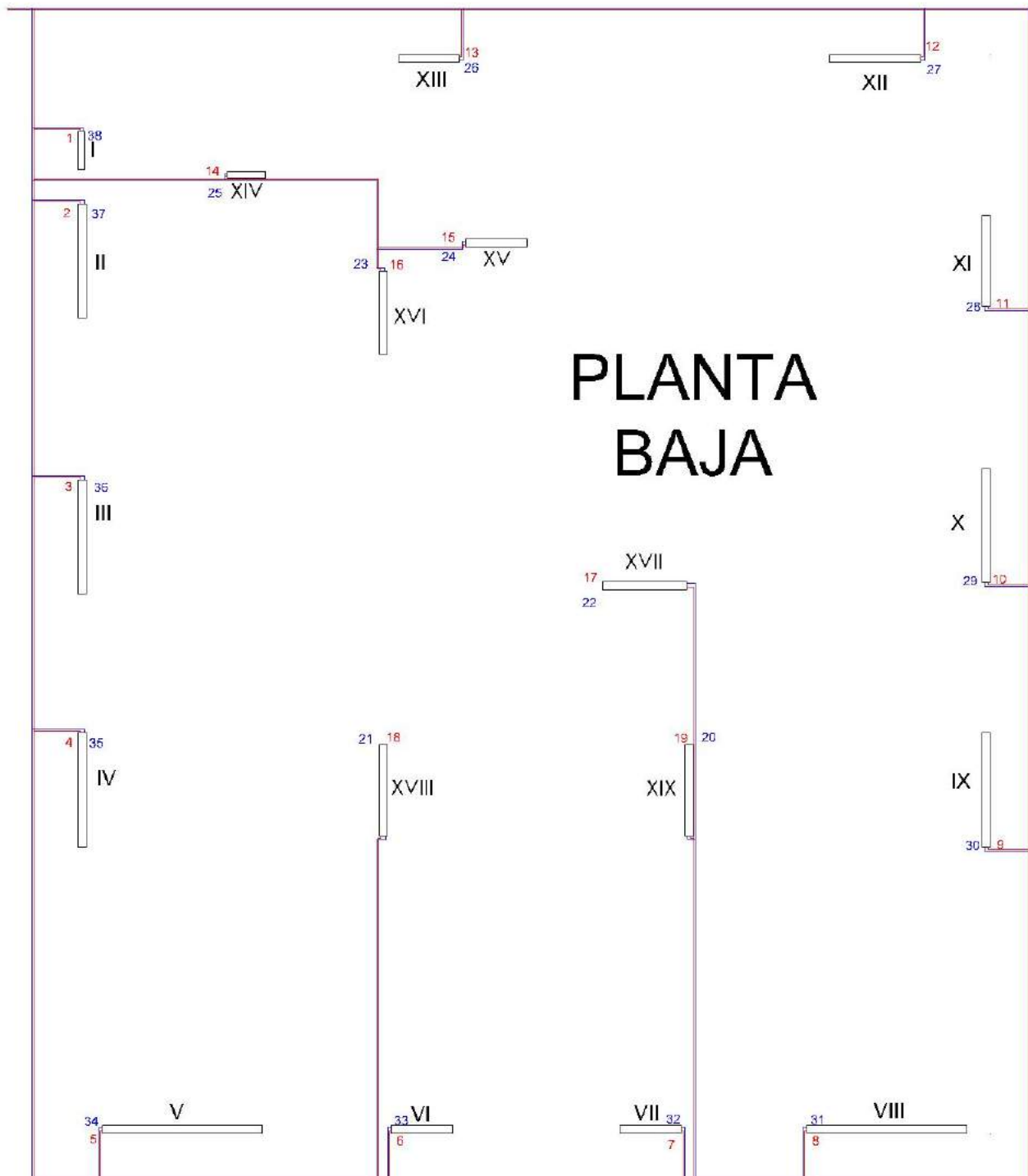


Figura A.1. Radiadores y red de distribución de agua en la planta baja de la vivienda

Tabla A.8. Características de las uniones a los radiadores de la planta baja

Tramo	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Diámetro interno (m)	Diámetro interno real (m)	Velocidad real (m/s)
1	7,82E-06	0,5	0,0045	0,006	0,2766
2	1,33E-05	0,5	0,0058	0,006	0,4721
3	1,02E-05	0,5	0,0051	0,006	0,3603
4	1,02E-05	0,5	0,0051	0,006	0,3603
5	1,66E-05	0,5	0,0065	0,008	0,3293
6	6,31E-06	0,5	0,0040	0,006	0,2230
7	6,31E-06	0,5	0,0040	0,006	0,2230
8	1,66E-05	0,5	0,0065	0,008	0,3293
9	1,18E-05	0,5	0,0055	0,006	0,4182
10	1,18E-05	0,5	0,0055	0,006	0,4182
11	1,07E-05	0,5	0,0052	0,006	0,3777
12	1,07E-05	0,5	0,0052	0,006	0,3777
13	7,12E-06	0,5	0,0043	0,006	0,2518
14	7,82E-06	0,5	0,0045	0,006	0,2766
15	7,12E-06	0,5	0,0043	0,006	0,2518
16	9,79E-06	0,5	0,0050	0,006	0,3462
17	9,79E-06	0,5	0,0050	0,006	0,3462
18	1,07E-05	0,5	0,0052	0,006	0,3777
19	1,07E-05	0,5	0,0052	0,006	0,3777
20	1,07E-05	0,5	0,0052	0,006	0,3777
21	1,07E-05	0,5	0,0052	0,006	0,3777
22	9,79E-06	0,5	0,0050	0,006	0,3462
23	9,79E-06	0,5	0,0050	0,006	0,3462
24	7,12E-06	0,5	0,0043	0,006	0,2518
25	7,82E-06	0,5	0,0045	0,006	0,2766
26	7,12E-06	0,5	0,0043	0,006	0,2518
27	1,07E-05	0,5	0,0052	0,006	0,3777
28	1,07E-05	0,5	0,0052	0,006	0,3777
29	1,18E-05	0,5	0,0055	0,006	0,4182
30	1,18E-05	0,5	0,0055	0,006	0,4182
31	1,66E-05	0,5	0,0065	0,008	0,3293
32	6,31E-06	0,5	0,0040	0,006	0,2230
33	6,31E-06	0,5	0,0040	0,006	0,2230
34	1,66E-05	0,5	0,0065	0,008	0,3293
35	1,02E-05	0,5	0,0051	0,006	0,3603
36	1,02E-05	0,5	0,0051	0,006	0,3603
37	1,33E-05	0,5	0,0058	0,006	0,4721
38	7,82E-06	0,5	0,0045	0,006	0,2766

Tabla A.9. Características de la red principal de agua de la planta baja

Tramo	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Diámetro interno (m)	Diámetro interno real (m)	Velocidad real (m/s)
Entrada	1,95E-04	0,5	0,0223	0,026	0,3678
0-I	9,98E-05	0,5	0,0159	0,016	0,4964
I-II	9,20E-05	0,5	0,0153	0,016	0,4575
	6,73E-05	0,5	0,0131	0,014	0,4369
II-III	5,39E-05	0,5	0,0117	0,012	0,4767
III-IV	4,37E-05	0,5	0,0106	0,012	0,3866
IV-V	3,35E-05	0,5	0,0092	0,01	0,4270
V-VI	1,70E-05	0,5	0,0066	0,008	0,3379
	6,31E-06	0,5	0,0040	0,006	0,2230
XVIII	1,07E-05	0,5	0,0052	0,006	0,3777
I-XIV	2,47E-05	0,5	0,0079	0,008	0,4920
XIV-XVI	1,69E-05	0,5	0,0066	0,008	0,3364
	9,79E-06	0,5	0,0050	0,006	0,3462
XV	7,12E-06	0,5	0,0043	0,006	0,2518
0-XIII	9,54E-05	0,5	0,0156	0,016	0,4747
XIII-XII	8,83E-05	0,5	0,0150	0,016	0,4393
XII-XI	7,77E-05	0,5	0,0141	0,0145	0,4702
XI-X	6,70E-05	0,5	0,0131	0,014	0,4351
X-IX	5,51E-05	0,5	0,0119	0,012	0,4876
IX-VIII	4,33E-05	0,5	0,0105	0,012	0,3831
VII-VIII	2,68E-05	0,5	0,0083	0,01	0,3409
	6,31E-06	0,5	0,0040	0,006	0,2230
VIII-XIX	2,05E-05	0,5	0,0072	0,008	0,4072
XIX-XVII	9,79E-06	0,5	0,0050	0,006	0,3462
Salida	1,95E-04	0,5	0,0223	0,026	0,3678

Por otra parte, se van a indicar en la Tabla A.10 todos los accesorios que lleva la red hidráulica de la planta baja de la vivienda. Estos datos son de especial relevancia a la hora de calcular las pérdidas de carga que hay en el sistema.

Tabla A.10. Accesorios incorporados en los conductos de la planta baja

Tramo	Accesorios			Tramo	Accesorios		
	Codos	Reducción	Válvula de corte		Codos	Reducción	Otros
1	2	2	1	Entrada	3	2	Válvula retención, válvula corte , lira
2	2	2	1	0-I		1	Te
3	2	2	1	I-II		1	Te
4	2	2	1			1	Te
5	1	2	1	II-III		1	Te
6	1	1	1	III-IV			Te
7	1	1	1	IV-V	1	1	Te, lira
8	1	2	1	V-VI		1	Te
9	1	2	1			1	Te
10	1	2	1	XVIII	1	1	Lira
11	2	2	1	I-XIV		1	Te
12	2	2	1	XIV-XVI	1		Te
13	2	2	1		1	1	
14	2	2	1	XV	1	1	
15	2	2	1	0-XIII		1	Lira, te
16	2	1	1	XIII-XII			Lira, te
17	2	1	1	XII-XI	1	1	Lira, te
18	2	1	1	XI-X		1	Te
19	2	2	1	X-IX		1	Te
20	1	2	1	IX-VIII	1		Lira, te
21	1	1	1	VII-VIII		1	Te
22	1	1	1			1	Te
23	1	1	1	VIII-XIX		1	Lira, te
24	1	2	1	XIX-XVII	1	1	
25	1	2	1	Salida	5		3 válvulas de mariposa, lira
26	1	2	1				
27	1	2	1				
28	1	2	1				
29	1	2	1				
30	1	2	1				
31	1	2	1				
32	1	1	1				
33	1	1	1				
34	1	2	1				
35	1	2	1				
36	1	2	1				
37	1	2	1				
38	1	2	1				

1.2.2. Planta alta

Al igual que en la planta baja, en la Figura A.2 se representa la localización de los radiadores en la planta alta, así como la distribución de la red de agua.

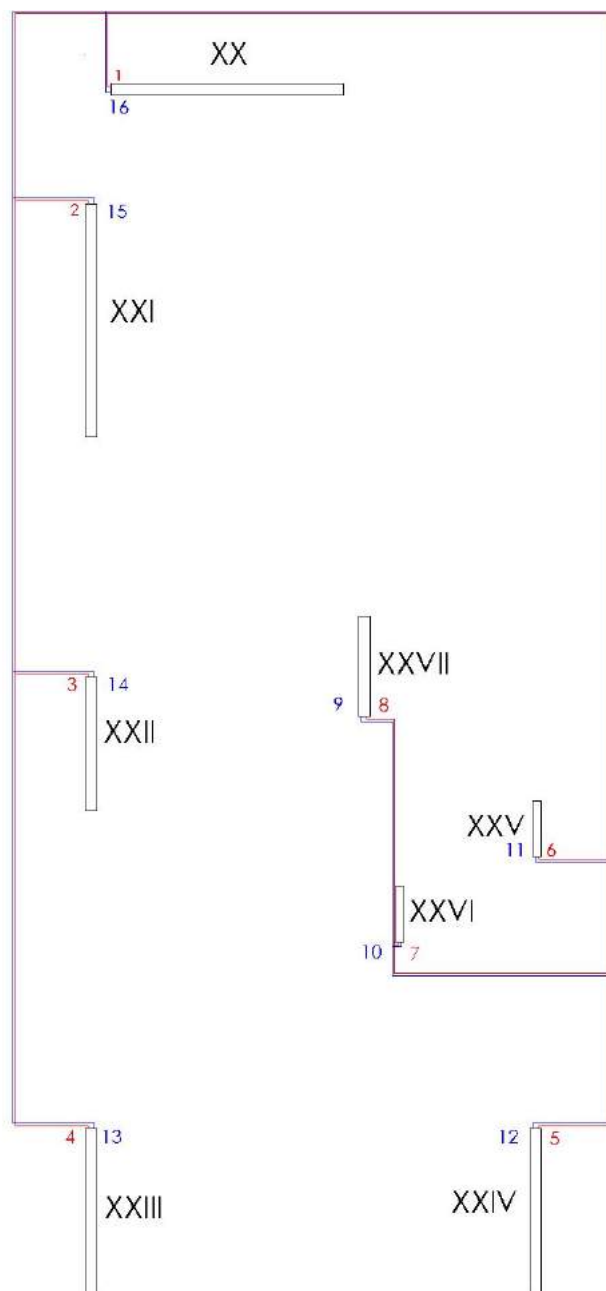


Figura A.2. Radiadores y red de distribución de agua en la planta alta de la vivienda

De forma análoga, en las Tablas A.11 y A.12 que aparecen a continuación se ven reflejadas todas las características de las tuberías que componen esta red.

Tabla A.11. Características de las uniones a los radiadores de la planta alta

Tramo	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Diámetro interno (m)	Diámetro interno real (m)	Velocidad real (m/s)
1	1,43E-05	0,5	0,0060	0,008	0,284
2	1,43E-05	0,5	0,0060	0,008	0,284
3	8,15E-06	0,5	0,0046	0,006	0,288
4	1,18E-05	0,5	0,0055	0,006	0,418
5	1,18E-05	0,5	0,0055	0,006	0,418
6	5,49E-06	0,5	0,0037	0,006	0,194
7	5,49E-06	0,5	0,0037	0,006	0,194
8	5,06E-06	0,5	0,0036	0,006	0,179
9	5,06E-06	0,5	0,0036	0,006	0,179
10	5,49E-06	0,5	0,0037	0,006	0,194
11	5,49E-06	0,5	0,0037	0,006	0,194
12	1,18E-05	0,5	0,0055	0,006	0,418
13	1,18E-05	0,5	0,0055	0,006	0,418
14	8,15E-06	0,5	0,0046	0,006	0,288
15	1,43E-05	0,5	0,0060	0,008	0,284
16	1,43E-05	0,5	0,0060	0,008	0,284

Tabla A.12. Características de la red principal de agua de la planta alta

Tramo	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Diámetro interno (m)	Diámetro interno real (m)	Velocidad real (m/s)
Entrada	7,63E-05	0,5	0,0139	0,014	0,496
0-XXI	3,42E-05	0,5	0,0093	0,01	0,436
XXI-XXII	2,00E-05	0,5	0,0071	0,008	0,397
XXII-XXIII	1,18E-05	0,5	0,0055	0,006	0,418
0-XX	4,21E-05	0,5	0,0104	0,012	0,372
XX-XXV	2,79E-05	0,5	0,0084	0,01	0,355
XXV-XXIV	2,24E-05	0,5	0,0075	0,008	0,445
	1,18E-05	0,5	0,0055	0,006	0,418
XXV-XXVI	1,05E-05	0,5	0,0052	0,006	0,373
XXVI-XXVII	5,06E-06	0,5	0,0036	0,006	0,179
Salida	7,63E-05	0,5	0,0139	0,014	0,496

Por último, en la Tabla A.13 aparecen todos los accesorios que están incluidos en la red de tuberías de la planta alta.

Tabla A.13. Accesorios incorporados en los conductos de la planta baja

Tramo	Accesorios			Tramo	Accesorios		
	Codo	Reducción	Válvula de corte		Codo	Reducción	Otros
1	1	1	1	Entrada		1	Te
2	1	1	1	0-XXI		1	Te
3	1	1	1	XXI-XXII		1	Te
4	2		1	XXII-XXIII	1	1	
5	2		1	0-XX		1	Te
6	2	1	1	XX-XXV	1	1	Te, lira
7	2	1	1	XXV-XXIV		1	Te
8	2		1		1	1	
9	1		1	XXV-XXVI	1	1	Te
10	1	1	1	XXVI-XXVII	1		
11	1		1	Salida		1	Te
12	1	1	1				
13	1		1				
14	1	1	1				
15	1	1	1				
16	1	1	1				

1.2.3. Dilataciones

Las dilataciones son otro elemento que se han tenido en cuenta en todos los tramos de tubería del sistema. Por ello en las Tablas A.14 y A.15 aparece la longitud de dilatación que puede sufrir cada tubería.

Hay que añadir que, si la longitud de la tubería en la que se estudia la existencia de dilatación es mayor a 5 metros, habrá que añadir algún elemento de compensación, ya que la dilatación se hace pronunciada y habrá una dilatación de unos 5 mm, lo cual ya es considerable.

En el interior de la sala de calderas no será necesario incorporar ningún elemento de compensación, ya que las longitudes de tuberías no son demasiado grandes y dichas dilataciones se pueden compensar con los codos.

Tabla A.14. Dilatación que tiene lugar en las tuberías

PLANTA BAJA			PLANTA ALTA		
Tramo	ΔL tubería agua caliente (mm)	ΔL tubería agua fría (mm)	Tramo	ΔL tubería agua caliente (mm)	ΔL tubería agua fría (mm)
Entrada	7,17	5,86	Entrada	3,22	2,64
0-I	1,43	1,17	0-XXI	1,54	1,26
I-II	0,60	0,49	XXI-XXII	3,91	3,20
	0,27	0,22	XXII-XXIII	3,73	3,05
II-III	3,31	2,71	0-XX	0,77	0,63
III-IV	3,04	2,49	XX-XXV	11,13	9,11
IV-V	6,16	5,04	XXV-XXIV	0,94	0,77
V-VI	3,34	2,73		1,26	1,03
	0,13	0,10	XXV-XXVI	2,03	1,66
XVIII	4,07	3,33	XXVI-XXVII	2,13	1,74
I-XIV	2,30	1,88	Salida	3,22	2,64
XIV-XVI	2,67	2,18			
	0,26	0,21			
XV	1,02	0,84			
0-XIII	5,13	4,20			
XIII-XII	5,53	4,53			
XII-XI	4,86	3,97			
XI-X	3,31	2,71			
X-IX	3,17	2,59			
IX-VIII	6,64	5,43			
VII-VIII	1,32	1,08			
	0,13	0,10			
VIII-XIX	4,08	3,34			
XIX-XVII	3,00	2,46			
Salida	7,17	5,86			

1.3. Pérdidas de carga en el sistema

Como ya se ha explicado en la memoria, para el cálculo de las pérdidas de carga se requiere conocer tanto los valores del coeficiente de pérdidas de carga de los elementos como las características del conducto. En la Tabla A.15 aparecen todos los coeficientes K_i que se han empleado para el cálculo de las pérdidas de carga.

Tabla A.15. Factores de pérdida de carga de los accesorios del sistema [39]

Elemento	K_i
Te directa con desviación	0,3
Cambio de dirección con curva o codo	0,7
Salida de colector	0,5
Entrada colector	1,0
Reducción	0,4
Lira de dilatación	1,0
Válvula de cierre	10,0
Válvula de mariposa	7,0
Radiador	2,5

Además, se conoce que el coeficiente de fricción del cobre es 0,0015, con lo que se puede suponer que los tubos son lisos y se puede calcular f con la ecuación de Blasius [40]:

$$f = 0,316 \cdot Re^{-0,25} \quad (2)$$

En las Tablas A.16 a A.21 se recogen las pérdidas de carga de todo el sistema.

Tabla A.16. Pérdidas de carga en los radiadores

Radiador	Diámetro (m)	Diámetro entrada	Velocidad (m/s)	ΔP (Pa)
I	0,0127	1/2"	0,062	4,765
II	0,0095	3/8"	0,187	43,872
III	0,0095	3/8"	0,143	25,546
IV	0,0095	3/8"	0,143	25,546
V	0,0095	3/8"	0,232	67,434
VI	0,0095	3/8"	0,089	9,791
VII	0,0095	3/8"	0,089	9,791
VIII	0,0095	3/8"	0,232	67,434
IX	0,0095	3/8"	0,166	34,413
X	0,0095	3/8"	0,166	34,413
XI	0,0095	3/8"	0,150	28,078
XII	0,0095	3/8"	0,150	28,078
XIII	0,0095	3/8"	0,100	12,479
XIV	0,0127	1/2"	0,062	4,765
XV	0,0095	3/8"	0,100	12,479
XVI	0,0095	3/8"	0,137	23,593
XVII	0,0095	3/8"	0,137	23,593
XVIII	0,0095	3/8"	0,150	28,078
XIX	0,0095	3/8"	0,150	28,078
XX	0,0095	3/8"	0,2001	48,937
XXI	0,0095	3/8"	0,2001	48,937
XXII	0,0095	3/8"	0,1144	15,982
XXIII	0,0095	3/8"	0,1659	33,647
XXIV	0,0095	3/8"	0,1659	33,647
XXV	0,0127	1/2"	0,0433	2,293
XXVI	0,0127	1/2"	0,0433	2,293
XXVII	0,0095	3/8"	0,0710	6,168
TOTAL				704,132

La pérdida de carga total en radiadores es de 704,132 Pa, lo que equivale a 0,073 m.c.a.

Tabla A.17. Pérdidas de carga en las uniones con los radiadores de la planta baja

Tramo	Caudal (L/s)	Diámetro interno (m)	Velocidad (m/s)	L(m)	K _i	Re	f	ΔP (Pa)
1	0,0078	0,006	0,2766	1,51865	12,2	4.282	0,039	823,800
2	0,0133	0,006	0,4721	0,736	12,2	7.308	0,034	1781,164
3	0,0102	0,006	0,3603	0,736	12,2	5.577	0,037	1055,713
4	0,0102	0,006	0,3603	0,736	12,2	5.577	0,037	1055,713
5	0,0166	0,008	0,3293	0,636	11,5	6.795	0,035	753,929
6	0,0063	0,006	0,2230	0,636	11,1	3.452	0,041	375,119
7	0,0063	0,006	0,2230	0,636	11,1	3.452	0,041	375,119
8	0,0166	0,008	0,3293	0,636	11,5	6.795	0,035	753,929
9	0,0118	0,006	0,4182	0,636	11,5	6.472	0,035	1298,449
10	0,0118	0,006	0,4182	0,636	11,5	6.472	0,035	1298,449
11	0,0107	0,006	0,3777	0,736	12,2	5.846	0,036	1156,671
12	0,0107	0,006	0,3777	0,736	12,2	5.846	0,036	1156,671
13	0,0071	0,006	0,2518	0,736	12,2	3.898	0,040	528,693
14	0,0078	0,006	0,2766	0,96865	12,2	4.282	0,039	690,242
15	0,0071	0,006	0,2518	0,18625	12,2	3.898	0,040	415,437
16	0,0098	0,006	0,3462	0,18625	11,8	5.359	0,037	756,510
17	0,0098	0,006	0,3462	0,18625	11,8	5.359	0,037	756,510
18	0,0107	0,006	0,3777	0,18625	11,8	5.846	0,036	898,594
19	0,0107	0,006	0,3777	0,18625	12,2	5.846	0,036	926,411
20	0,0107	0,006	0,3777	0,08625	11,5	5.128	0,037	841,946
21	0,0107	0,006	0,3777	0,08625	11,1	5.128	0,037	813,967
22	0,0098	0,006	0,3462	0,08625	11,1	4.700	0,038	684,652
23	0,0098	0,006	0,3462	0,08625	11,1	4.700	0,038	684,652
24	0,0071	0,006	0,2518	0,08625	11,5	3.418	0,041	375,979
25	0,0078	0,006	0,2766	0,06865	11,5	3.755	0,040	448,749
26	0,0071	0,006	0,2518	0,636	11,5	3.418	0,041	493,695
27	0,0107	0,006	0,3777	0,636	11,5	5.128	0,037	1081,276
28	0,0107	0,006	0,3777	0,636	11,5	5.128	0,037	1081,276
29	0,0118	0,006	0,4182	0,636	11,5	5.677	0,036	1316,716
30	0,0118	0,006	0,4182	0,636	11,5	5.677	0,036	1316,716
31	0,0166	0,008	0,3293	0,636	11,5	5.960	0,036	763,241
32	0,0063	0,006	0,2230	0,636	11,1	3.028	0,043	380,866
33	0,0063	0,006	0,2230	0,636	11,1	3.028	0,043	380,866
34	0,0166	0,008	0,3293	0,636	11,5	5.960	0,036	763,241
35	0,0102	0,006	0,3603	0,636	11,5	4.891	0,038	986,776
36	0,0102	0,006	0,3603	0,636	11,5	4.891	0,038	986,776
37	0,0133	0,006	0,4721	0,636	11,5	6.409	0,035	1666,020
38	0,0078	0,006	0,2766	0,61865	11,5	3.755	0,040	587,567
TOTAL								32.512,1

Tabla A.18. Pérdidas de carga en la red principal de la planta baja

Tramo	Caudal (L/s)	Diámetro interno (m)	Velocidad (m/s)	L(m)	K _i	Re	f	ΔP (Pa)
Entrada	0,1953	0,026	0,3678	7,85	15,4	24.668	0,025	1.516,37
0-I	0,0998	0,016	0,4964	1,57	0,7	20.490	0,026	395,39
I-II	0,0920	0,016	0,4575	0,66	0,7	18.885	0,027	184,88
	0,0673	0,014	0,4369	0,30	0,7	15.780	0,028	121,36
II-III	0,0539	0,012	0,4767	3,63	0,7	14.756	0,029	1.038,07
III-IV	0,0437	0,012	0,3866	3,33	0,3	11.968	0,030	632,63
IV-V	0,0335	0,01	0,4270	6,75	2,4	11.015	0,031	2.063,67
V-VI	0,0170	0,008	0,3379	3,66	0,7	6.974	0,035	919,53
	0,0063	0,006	0,2230	0,14	0,7	3.452	0,041	40,30
XVIII	0,0107	0,006	0,3777	4,46	2,1	5.846	0,036	2.014,09
I-XIV	0,0247	0,008	0,4920	2,52	0,7	10.154	0,031	1.252,58
XIV-XVI	0,0169	0,008	0,3364	2,92	1	6.943	0,035	752,16
	0,0098	0,006	0,3462	0,28	1,1	5.359	0,037	164,99
XV	0,0071	0,006	0,2518	1,12	1,1	3.898	0,040	264,73
0-XIII	0,0954	0,016	0,4747	5,62	1,7	19.595	0,027	1.217,34
XIII-XII	0,0883	0,016	0,4393	6,06	1,3	18.134	0,027	1.092,60
XII-XI	0,0777	0,0145	0,4702	5,32	2,4	17.590	0,027	1.343,82
XI-X	0,0670	0,014	0,4351	3,63	0,7	15.713	0,028	739,76
X-IX	0,0551	0,012	0,4876	3,47	0,7	15.095	0,029	1.036,59
IX-VIII	0,0433	0,012	0,3831	7,27	2	11.859	0,030	1.455,38
VII-VIII	0,0268	0,01	0,3409	1,45	0,7	8.795	0,033	307,70
	0,0063	0,006	0,2230	0,14	0,7	3.452	0,041	40,30
VIII-XIX	0,0205	0,008	0,4072	4,47	1,7	8.404	0,033	1.628,01
XIX-XVII	0,0098	0,006	0,3462	3,29	1,1	5.359	0,037	1.247,65
Salida	0,1953	0,026	0,3678	7,85	25,5	24.668	0,025	2.301,92
TOTAL								43.725,37

Cabe destacar que las pérdidas de carga totales en los conductos de la red principal son las mismas para el agua fría que para el agua caliente, ya que las tuberías son análogas.

Por tanto, las pérdidas de carga totales en los conductos de la planta baja son de 76.237,463 Pa, que equivalen a 7,96 m.c.a.

Tabla A.19. Pérdidas de carga en las uniones con los radiadores de la planta alta

Tramo	Caudal (L/s)	Diámetro interno (m)	Velocidad (m/s)	L(m)	K _i	Re	f	ΔP (Pa)
1	0,014	0,008	0,284	0,636	11,1	5.854	0,036	548,011
2	0,014	0,008	0,284	0,636	11,1	5.854	0,036	548,011
3	0,008	0,006	0,288	0,636	11,1	4.461	0,039	615,300
4	0,012	0,006	0,418	0,736	11,4	6.472	0,035	1.339,971
5	0,012	0,006	0,418	0,736	11,4	6.472	0,035	1.339,971
6	0,005	0,006	0,194	1,918	11,8	3.004	0,043	467,221
7	0,005	0,006	0,194	1,373	11,8	3.004	0,043	395,976
8	0,005	0,006	0,179	0,186	11,4	2.771	0,044	199,252
9	0,005	0,006	0,179	0,086	10,7	2.479	0,045	178,286
10	0,005	0,006	0,194	0,176	11,1	3.022	0,043	227,997
11	0,005	0,006	0,194	0,619	10,7	3.022	0,043	278,742
12	0,012	0,006	0,418	0,636	11,1	6.510	0,035	1.271,282
13	0,012	0,006	0,418	0,636	10,7	6.510	0,035	1.236,991
14	0,008	0,006	0,288	0,636	11,1	4.487	0,039	618,654
15	0,014	0,008	0,284	0,636	11,1	5.889	0,036	551,050
16	0,014	0,008	0,284	0,636	11,1	5.889	0,036	551,050
TOTAL								10.367,765

Tabla A.20. Pérdidas de carga en la red principal de la planta alta

Tramo	Caudal (L/s)	Diámetro interno (m)	Velocidad (m/s)	L(m)	K _i	Re	f	ΔP (Pa)
Entrada	0,0763	0,014	0,496	3,53	7,7	16.736	0,0278	1.762,289
0-XXI	0,0342	0,01	0,436	1,69	0,7	10.505	0,0312	554,836
XXI-XXII	0,0200	0,008	0,397	4,28	0,7	7.661	0,0338	1.448,577
XXII-XXIII	0,0118	0,006	0,418	4,08	1,1	6.047	0,0358	2.176,943
0-XX	0,0421	0,012	0,372	0,84	0,7	10.771	0,0310	194,672
XX-XXV	0,0279	0,01	0,355	12,19	2,4	8.550	0,0329	2.611,784
XXV-XXIV	0,0224	0,008	0,445	1,03	0,7	8.582	0,0328	477,161
	0,0118	0,006	0,418	1,38	1,1	6.047	0,0358	798,544
XXV-XXVI	0,0105	0,006	0,373	2,22	1,4	5.396	0,0369	1.023,694
XXVI-XXVII	0,0051	0,006	0,179	2,33	0,7	2.589	0,0443	280,551
Salida	0,0763	0,014	0,496	3,53	7,7	16.736	0,0278	1.882,289
TOTAL								22.778,10

Las pérdidas de carga totales en los conductos de la planta alta son 33.145,865 Pa, siendo esto igual a 3,46 m.c.a.

Por último, se determinan las pérdidas de carga en las tuberías que se localizan en el interior de la sala de calderas. En la Figura A.3 se muestra el circuito hidráulico que se ha diseñado en dicha sala, y en la Tabla A.21 aparecen calculadas las pérdidas de carga.

Tabla 21 Pérdidas de carga en los conductos del interior de la sala de calderas

Tramo	Caudal (L/s)	Diámetro interno (m)	Velocidad (m/s)	L(m)	K_i	Re	f	ΔP (Pa)
Sala de calderas	0,272	0,026	0,512	3,394	5,100	34.313	0,023	1.037,22

Haciendo un recuento, se llega a que en el sistema hay unas pérdidas de carga de 111.308,10 Pa, o lo que es lo mismo, 11,62 m.c.a.

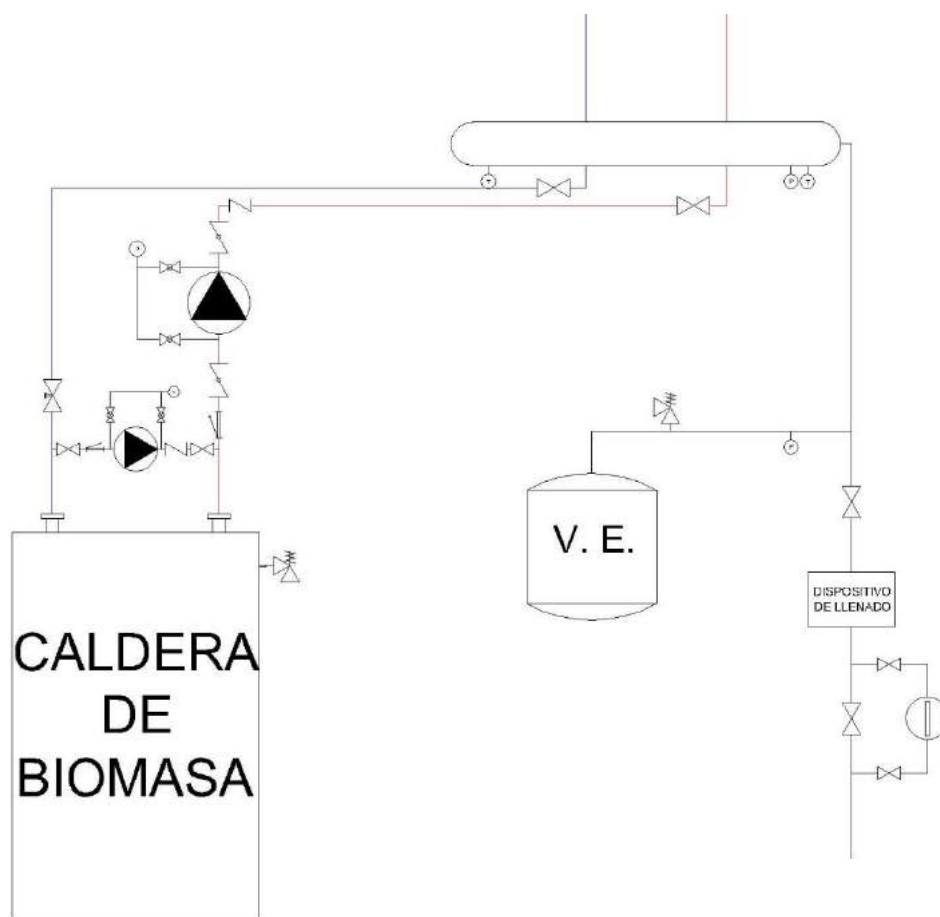


Figura A.362. Elementos hidráulicos en la sala de calderas

1.4. Selección de la bomba de impulsión

Ya se ha mencionado en la memoria el procedimiento para obtener los datos necesarios para poder elegir una bomba u otra. Éstos aparecen en la Tabla A.22:

Tabla A.22. Datos para la selección de la bomba de impulsión

Caudal (m^3/h)	P_i (Pa)	P_f	H_f	H_b (m.c.a.)
0,978	215.019,05	174.373,96	19.373,96	1,93

A partir de estos datos se ha elegido el modelo Calio S de la marca KSB. Dentro del modelo elegido existen varios tipos dependiendo del tamaño y la potencia que se quiera, por ello habrá que determinar mediante sus curvas características cual es el adecuado. En la Figura A.4 se muestra la curva de la bomba y el punto en el que funciona el sistema que se presenta:

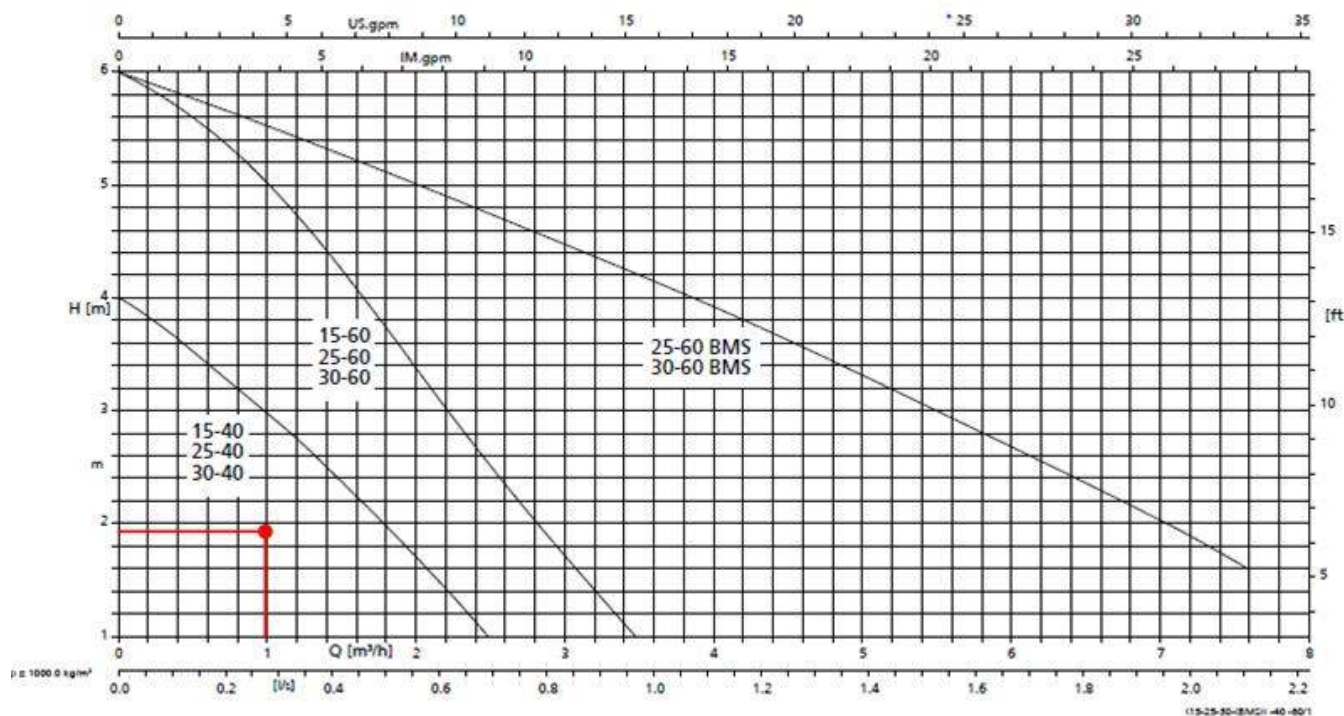


Figura A.4. Curva característica de la bomba Calio S [53]

Dentro de ese modelo existen varios tipos, correspondientes a cada curva que se muestra en la Figura A.5. La elección adecuada es aquella que está justo por encima del punto de funcionamiento deseado. En este caso el modelo a elegir es el 15/25/30 – 40, y por tanto habrá que irse ahora a las curvas características de este modelo. En la Figura 6 se representan dichas curvas:

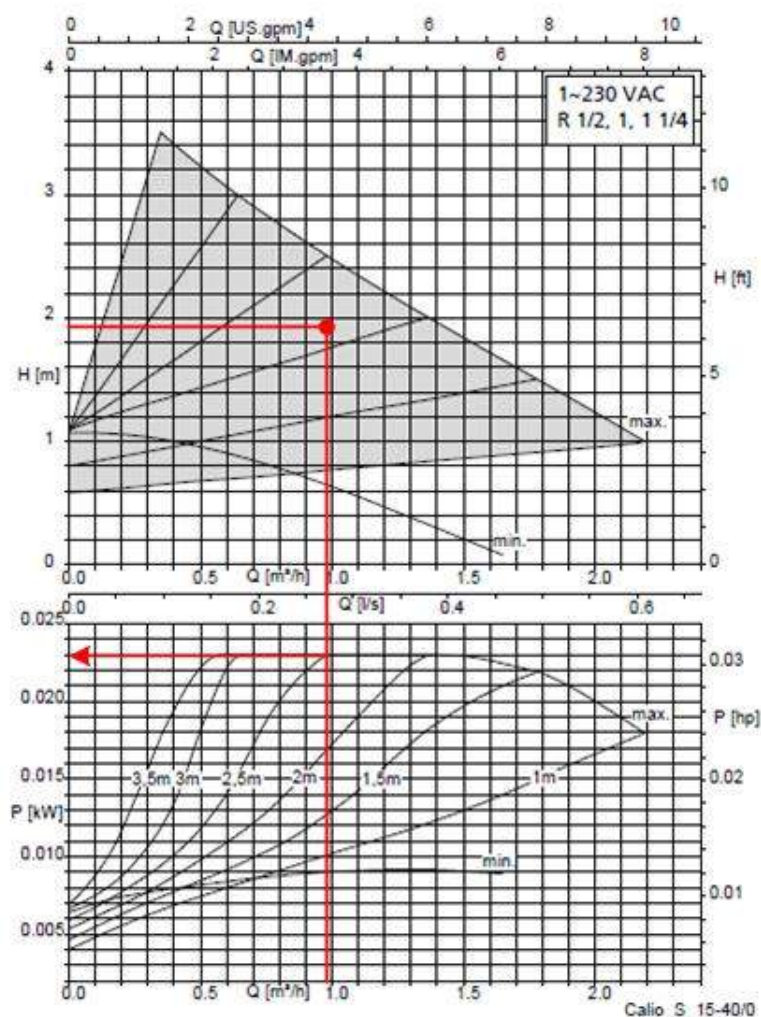
Calio S 15/25/30-40 Δp_v 

Figura A.5. Curva característica de la bomba Calio S 15/25/35 – 40 [53]

A través de la primera curva se elige el modelo concreto, que es aquel que da una altura máxima de 2,5 m, ya que siempre hay que elegir la curva que queda justo por encima del punto de funcionamiento teórico. Por tanto, si se observa en la curva que aparece en la parte inferior de la Figura A.5, la potencia que tiene la bomba a utilizar será de 0,023 kW.

Por otra parte, se puede obtener la curva del sistema, a través de la cual se puede obtener el punto de funcionamiento del sistema, siendo éste el punto de corte entre dicha curva y la curva característica de la bomba. La Figura A.6 representa la intersección entre dichas curvas, donde se puede ver claramente que el punto real de funcionamiento será un caudal de 1,08 m³/h y una altura de 2,35 m. El punto que aparece en color rojo es el punto de funcionamiento teórico.

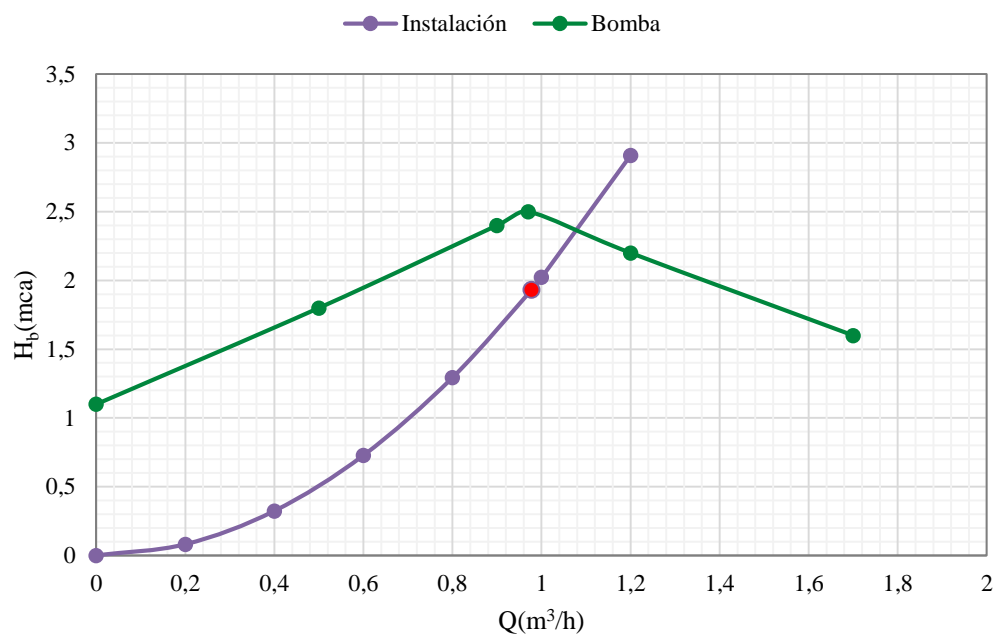


Figura A.6. Punto de funcionamiento real del sistema

ANEXO B: COSTES DE OPERACIÓN

El funcionamiento del sistema de calefacción conlleva una serie de costes anuales. Al iniciar la instalación habrá que realizar el desembolso de la inversión inicial, la cual se ha calculado en el presupuesto, y suma una cantidad de 74.059,66 €, que incluye la construcción de la sala de calderas y silo de almacenamiento, instalación de caldera, chimenea y todos los accesorios, así como la instalación hidráulica para distribuir el agua. Además de este abono, también será necesario abonar los costes que conlleva el arranque de la instalación, lo que significa llenar el silo de biocombustible y la red de agua. Estos gastos ascienden a 1.363,80 €.

Por otro lado, el funcionamiento de la instalación conlleva unos costes de operación. En ellos se incluye el gasto de combustible, agua, electricidad y las labores de revisión y mantenimiento necesarias para asegurar un correcto funcionamiento del sistema. El coste del combustible anual, incluyendo transporte y descarga, será de 2.553,10 € (15.000 kg/año a 0,145 €/kg, más el transporte y la descarga que ascienden a un total de 187,55 €), la electricidad a pagar será de 9.198,18 € (58,94 kW a 0,10404 €/kWh, si la temporada se supone de 1.500 horas), 14,65 € de agua (0,63746 m³ a 22,996 €/m³) y 548,12 € (340€ una revisión al año de la caldera y 208,12 una revisión al año del sistema completo) en cuanto a las labores de mantenimiento necesarias.

En la siguiente tabla aparecen desglosados todos estos costes:

Tabla B.1. Costes de la instalación de calefacción

COSTES DE LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN				
Inversión inicial			Costes de Operación	
Capital fijo	74.059,66 €		Combustible (15.000 kg)	2.553,10 €/año
Costes de arranque	Combustible inicial (8.000 kg)	1.345,15 €	Electricidad (58,94 kW)	9.198,18 €/año
	Llenado de agua del sistema (637,45 L)	14,65 €	Agua (637,45 L)	14,65 €/año
TOTAL	75.423,46 €		Mantenimiento	548,12 €/año
			TOTAL	12.314,05 €/año

ANEXO C: CERTIFICADO ENERGÉTICO DE LA VIVIENDA

La Directiva 2002/97/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, estableció un procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción, y con ella se creó el Real Decreto 47/2007 en España. Posteriormente, esta Directiva fue modificada, y con ella se llevaron a cabo modificaciones en la normativa española.

Por esto, se creó el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. La aplicación de dicho R.D. fue voluntaria hasta el 1 de junio de 2013. A partir de ese momento, fue obligatoria la presentación o puesta a disposición de los compradores o arrendatarios del certificado de eficiencia energética de la totalidad o parte de un edificio para los contratos de compraventa o arrendamiento.

Para los edificios existentes, el IDAE pone a disposición del público programas informáticos de calificación de eficiencia energética para edificios existentes, que son de aplicación en todo el territorio español.

En este caso se va a emplear el programa informático CERMA, que es una herramienta informática reconocida por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y por el Ministerio de Fomento, y que permite obtener de forma simplificada la calificación de eficiencia energética de viviendas.

En primer lugar, habrá que indicar los datos generales del edificio, tales como la dirección o el año de construcción del edificio, y los datos del certificador. A continuación, se incluirán los datos globales como el tipo de edificio, el número de plantas, el volumen, la superficie habitable y el número de espacios secos y húmedos.

Lo siguiente que se debe completar es el entorno del edificio, indicando así las distancias a las que se encuentran los edificios que lo rodean y sus alturas, tal y como refleja la Figura C.1.

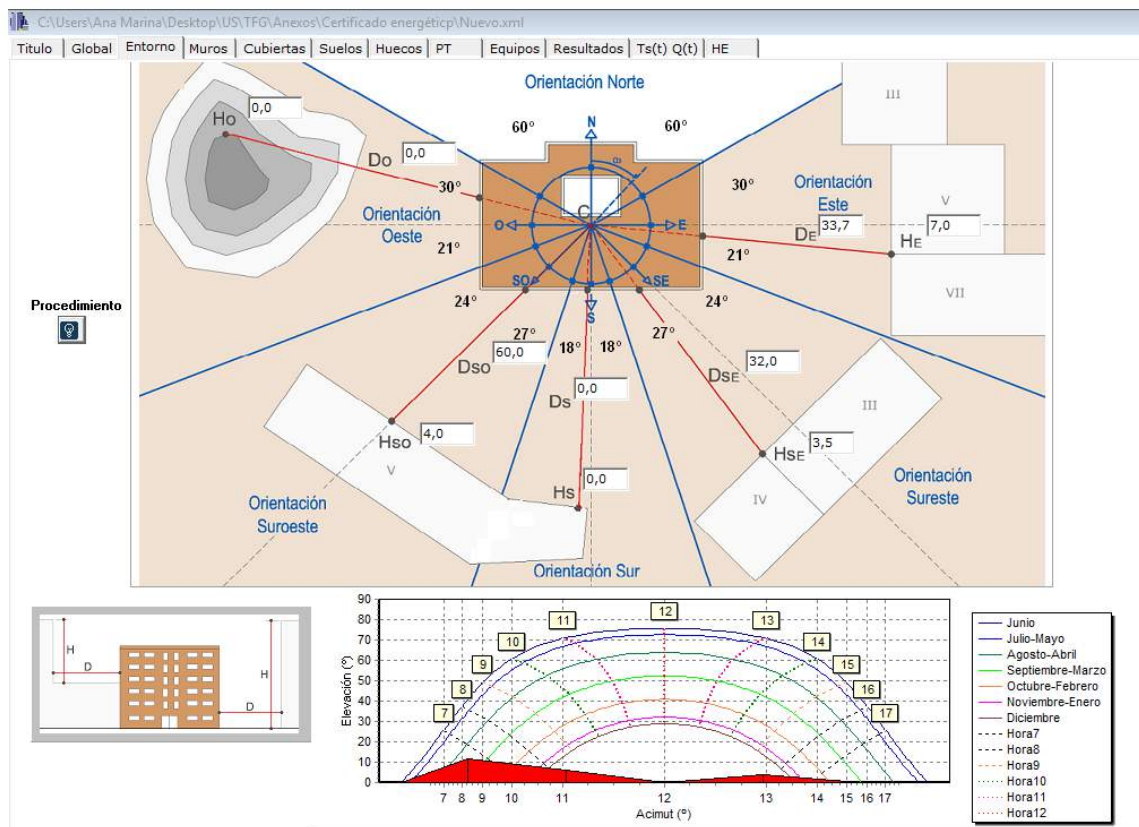


Figura C.1. Definición del entorno del edificio

Una vez definido el entorno del edificio, habrá que terminar de detallar todos los elementos de su estructura, tales como muros, cubiertas, suelo, huecos y puentes térmicos. Por último, se detallan las especificaciones de las instalaciones y equipos que hay en la vivienda, que en este caso solo se trata del sistema de calefacción.

A partir de estos datos, se obtienen los resultados de la calificación energética del edificio.

En las siguientes Figuras se muestran capturas del programa informático empleado para el cálculo de la calificación energética del edificio:

Ext. Tipo 1		Area total (m2)	Area fuera 1º plano (m2)
N,NO,NE	162,4		
U (W/m2K)	1,49		
SO	81,0	25,3	
SE	73,8	0,0	
E	0,0	0,0	
No definido			

Figura C.2. Información de los muros exteriores del edificio

Ext.Incl.1		Area m2 total	Area m2 Sombra
N,NE,NO	107,6	0,0	
U (W/m2K)	2,56		
SO	107,6	0,0	
SE	0,0	0,0	
E	0,0	0,0	
No definido			

Figura C.3. Información de las cubiertas del edificio

Suelos Terreno Tipo 1/2		Suelos Terreno Tipo 2	
Dimensiones		Dimensiones	
Area.....	171,7 m ²	Area.....	51,2 m ²
Profundidad..	0,0 m	Profundidad..	0,0 m
Perímetro ext	57,0 m	Perímetro ext	41,3 m
Aislamiento		Aislamiento	
<input type="radio"/> Periférico <input type="radio"/> Continuo <input checked="" type="radio"/> Sin aislam.		<input type="radio"/> Periférico <input type="radio"/> Continuo <input checked="" type="radio"/> Sin aislam.	
U (W/m ² K)		U (W/m ² K)	
1,00 No definido		2,94 No definido	

Figura C.4. Información de los suelos de la vivienda

Nombre		Valores máximos (CTE-HE1)	
Grupo_1		evitar descompesaciones	
Dimensiones		Tipo	
		<input checked="" type="radio"/> Ventana <input type="radio"/> Puerta <input type="radio"/> Lucernario	
Vidrio		U vidrio (W/m ² K)	
Monolíticos 4		5,70	
Marco		U marco (W/m ² K)	
Madera densidad media alta		2,20	
Global Hueco		Factor solar (tanto por uno)	
U hueco (W/m ² K)		0,85	
5,35		Fracc.marco (%)	
0,77		10	
Permeabilidad (m ³ /hm ²) con ΔP=100Pa		Se facilita la permeabilidad	
50			
Sombras elementos fijos		Sin elementos fijos	
Modificador general		Caja persianas	
Verano Invierno		<input type="radio"/> Existe <input checked="" type="radio"/> No existe	
Factor solar			
0,44 1,00			
U			
1,00 1,00			

Nº Huecos Grupo	
Ventana N...	0
Ventana O...	2
Ventana SO..	4
Ventana S...	0
Ventana SE..	3
Ventana E...	4

árbol Orientación-Grupo	
Edificio (14)	
Oeste (3)	
Grupo_1 (2)	
Grupo_2 (1)	
SurOeste (4)	
Grupo_1 (4)	
SurEste (3)	
Grupo_1 (3)	
Este (4)	
Grupo_1 (4)	

Figura C.5. Especificaciones de las ventanas de la vivienda

Nombre Grupo_2

Valores máximos (CTE-HE1) evitar descompesaciones

Dimensiones

Diagrama de un hueco con dimensiones: OD 0,55 m, OB 0,00 m, Alto 2,10 m, Ancho 1,50 m, Retranqueo 0,30 m.

Tipo

☐ Ventana
☒ Puerta
☐ Lucernario

Estudio sombra

Vidrio

Otros

Marco

Madera densidad media alta

Global Hueco

U hueco (W/m2K)	Factor solar hueco
0,71	0,77

Valores máximos (CTE-HE1)

☒ Copiar propiedades

Permeabilidad (m3/hm2 con $\Delta P=100Pa$) 27 Se facilita la permeabilidad

Sombras elementos fijos Sin elementos fijos

Modificador general

Caja persianas ☐ Existe ☒ No existe

Verano Invierno

Factor solar	U
1,00	1,00
1,00	1,00

Nº Huecos Grupo

Ventana N... 0
Ventana O... 1 ☒ Asignar/Sombra
Ventana SO... 0 ☒ Asignar/Sombra
Ventana S... 0 ☒ Asignar/Sombra
Ventana SE... 0 ☒ Asignar/Sombra
Ventana E... 0 ☒ Asignar/Sombra

árbol Orientación-Grupo

Edificio (14)

- Oeste (3)
 - Grupo_1 (2)
 - Grupo_2 (1)
- SurOeste (4)
 - Grupo_1 (4)
- SurEste (3)
 - Grupo_1 (3)
- Este (4)
 - Grupo_1 (4)

Figura C.6. Especificaciones de las puertas de la vivienda

Caracterización de los puentes térmicos

☒ Puentes térmicos del edificio - características constructivas

Tipo de encuentro con frente de forjado

☒ Frente de forjado no aislado
☐ Frente de forjado aislado
☐ Aislamiento continuo

Puentes térmicos pilares

☒ Pilar no aislado
☐ Pilar aislado por el exterior
☐ Pilar aislado por el interior
☐ Sin pilares

Tipo de encuentro con jambas de ventanas

☒ Sin aislamiento en fachada (Termoarquilla)
☐ Cerramiento cte. hasta la línea de jamba
☐ Cerr. conforma la jamba al doblar la hoja exterior

☐ Puentes térmicos del edificio - fijar valores

☐ Puentes térmicos del edificio - valores por defecto de LIDER

Espesor de cada forjado (entre 0,1 m y 0,5 m) 0,20 Anchura pilar 0,30 (m)

Puede determinar la pérdida lineal de un puentes térmicos en:
http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DA-DB-HE-3_Puentes_termicos.pdf

Longitud de los puentes térmicos (m lineales)

☐ Estimados ☒ Facilitados

Forjados	Cubiertas	Suelo ext.	Esq salientes - entrantes	Ventanas	Suelo terreno	N	Pilares (no en esquinas)	S	SE	E
37	59	0	13	74	60	20	0	10	0	9

Forjados no aislados

Encuentros horizontales fachada

Forjados	Cubierta	Suelo exterior
$\Psi_{fe} = 0,41$ W/mK $f = 0,75$	$\Psi_{ce} = 0,38$ W/mK $f = 0,71$	$\Psi_{se} = 0,33$ W/mK $f = 0,63$

Puentes verticales fachada

Esquina saliente

$\Psi_{ve} = 0,08$ W/mK
 $f = 0,82$

Ventana sin aislamiento en fachada

$\Psi_{ve} = 0,11$ W/mK
 $f = 0,75$

Terreno

$\Psi_{te} = 0,12$ W/mK
 $f = 0,7$

Pilar no aislado

$\Psi_{pe} = 0,8$ W/mK
 $f = 0,62$

El valor f (f_{Rsi}) es el factor de temperatura de la superficie interior (adimensional) $f = (T_{pi} - T_e) / (20 - T_e) = 1 - 0,25 U$

El valor de la pérdida lineal de un puente térmico (Ψ W/mK) es el flujo de calor por unidad de longitud de puente térmico y diferencia de temperatura (interior/exterior), a sumar a la pérdida de calor, calculada como si la superficie ocupada por el puente térmico fuera de muro en el que se encuentra (sin existencia de heterogeneidades)

T_{pi} - Temp. interior superficial mas baja
 T_e - Temp. exterior media mas enero
 U - Coef. transf. calor puente térmico

Figura C.7. Caracterización de los puentes térmicos

Servicio
Nombre:

Tipo de servicio
☐ Calefacción + Refrigeración
☐ Refrigeración
☒ Calefacción
☐ ACS
☐ ACS + Calefacción

Suelo acondicionado por servicio (m2) (con equipos) en calefacción

Equipos de Calefacción
 Nº equipos:
☒ Multizona por agua (radiadores)
☐ Unizona. Radiadores eléctricos
☐ Unizona. Con Rend. estacional conocido

Tipo de caldera
☐ Caldera baja temperatura
☐ Caldera condensación
☒ Caldera de biomasa
☐ Caldera convencional
☐ Bomba calor aire-agua
☐ Termo eléctrico

Tipo combustible
☐ Biomasa_Pellet
☒ Biomasa_Otros

Acumulación
☐ Con
☒ Sin

Temp. Impulsión Calef(°C)

Datos de cada caldera
 Pot. calorífica nominal (kW):
 Rendimiento nominal (%):

Otras instalaciones (sólo modificable desde el edificio)
 Recuperador aire ventilación:
☐ Existe
☒ No existe
 Instalación fotovoltaica:
☐ Existe
☒ No existe

Sistemas
 Edificio:
☐ Calefacción --/15,00/--
 1 Cal biomasa 61,0 kW 88,90%

Servicios Equipos
 Condiciones nominales equipos
 Equivalencia prestaciones nominales, prestaciones estacionales

Figura C.8. Especificaciones de la instalación de calefacción

A partir de todos estos datos y especificaciones, se obtienen los siguientes resultados:

Calificación Energética

Calificación
☒ Emisiones
☐ Energía primaria no renovable

Demanda sensible (kWh/m2)

Calefacción
 A: < 19,7
 B: 19,7 < 32,0
 C: 32,0 < 49,5
 D: 49,5 < 76,2
 E: 76,2 < 125,7
 F: 125,7 < 147,0
 G: >= 147,0
C 25,8

Refrigeración
 A: < 13,9
 B: 13,9 < 20,0
 C: 20,0 < 28,4
 D: 28,4 < 41,4
 E: 41,4 < 50,9
 F: 50,9 < 62,6
 G: >= 62,6
B 4,3

Bruta ACS
 0,0
A 0,0

Calificación energética Emisiones Totales CO2 (kg/m2)
 A: < 8,9
 B: 8,9 < 15,3
 C: 15,3 < 25,0
 D: 25,0 < 39,3
 E: 39,3 < 70,8
 F: 70,8 < 87,1
 G: >= 87,1
E 57,9

Emisiones CO2 (kg/m2)

Calefacción
 A: < 6,3
 B: 6,3 < 10,2
 C: 10,2 < 15,9
 D: 15,9 < 24,4
 E: 24,4 < 51,5
 F: 51,5 < 66,5
 G: >= 66,5
F 53,6

Refrigeración
 A: < 3,5
 B: 3,5 < 5,0
 C: 5,0 < 7,1
 D: 7,1 < 10,4
 E: 10,4 < 12,7
 F: 12,7 < 15,7
 G: >= 15,7
B 4,3

ACS
 A: < 1,6
 B: 1,6 < 1,8
 C: 1,8 < 2,2
 D: 2,2 < 2,8
 E: 2,8 < 6,5
 F: 6,5 < 7,6
 G: >= 7,6
A 0,0

Rend. estacional Sist. definido = 0,64
Combust. Sist. definido =
 Rend. estacional Sist. defecto = 0,92
 Combust. Sist. defecto = Gas Natural
 Rend. estacional Global = 0,89

EER sensible estacional Sist. defecto = 2,00
Combust. Sist. defecto = Electricidad

Figura C.9. Resultados de la certificación energética en cuanto a emisiones de CO₂

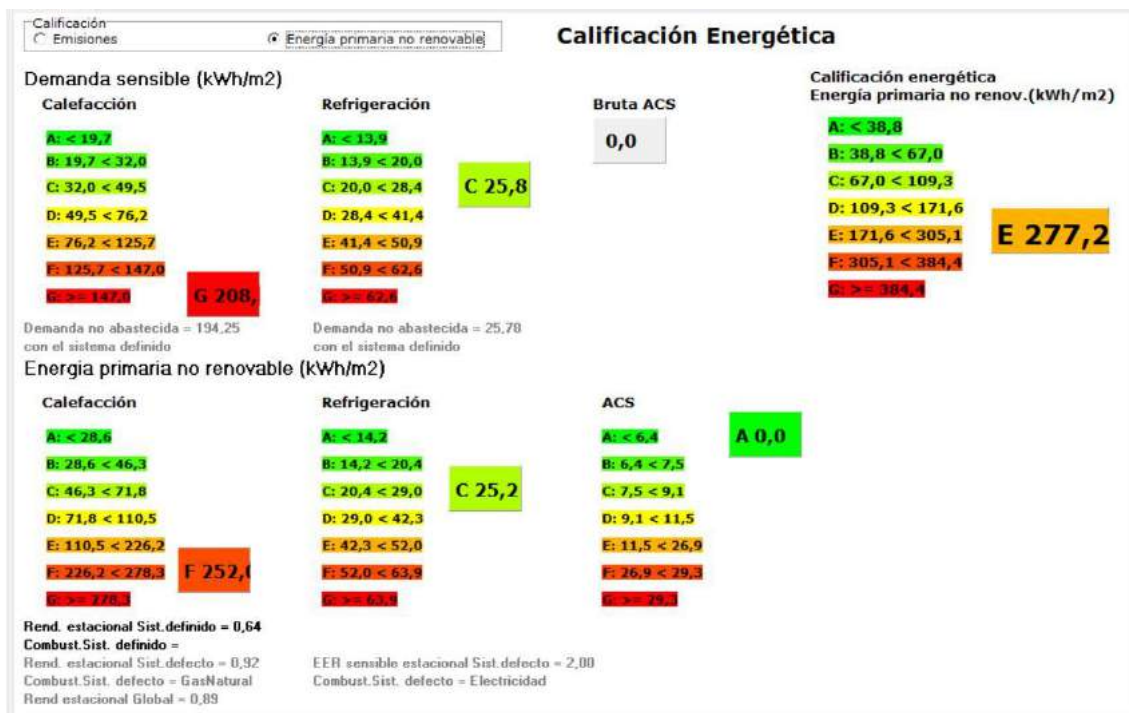


Figura C.10. Resultados de la calificación energética en cuanto a energía primaria

El resultado obtenido es la letra E, y toma unos valores de $57,9 \text{ kg/m}^2$ de CO_2 y $277,2 \text{ kWh/m}^2$. Al ser una vivienda antigua, la estructura no tiene ningún tipo de aislamiento, por ello el resultado da unos índices elevados de energía primaria no renovable y de altas emisiones de CO_2 . Si se toman valores de la transmitancia térmica que el programa de cálculo ofrece por defecto sale una calificación mayor que si se emplean los valores de la transmitancia que se calcularon para cada elemento del edificio cuando se calcularon las pérdidas térmicas en el edificio. Por ello, se tomarán los valores que se calcularon previamente que se ajustan más a la estructura real de la vivienda.

Para mejorar este resultado se pueden llevar a cabo mejoras, que el mismo programa informático propone. Estas mejoras son la instalación de aislamiento en paredes, cubierta y suelo, instalación de doble cristal en ventanas, reducción de superficies o de renovaciones de aire. Se trata de minimizar las pérdidas que tienen lugar por los elementos de la vivienda.

En las siguientes figuras se ven el porcentaje en el que se reducen las emisiones de CO_2 y la energía primaria respectivamente:

Tipo de datos							
<input type="radio"/> Demanda (kWh/m2 año)	<input type="radio"/> Energ.final (kWh/m2 año)	<input type="radio"/> Energ.prim.No renov (kWh/m2 año)	<input type="radio"/> Emisiones (kgCO2/m2 año)	<input checked="" type="radio"/> Calificación CO2			
<input type="radio"/> Ahorros demanda %	<input type="radio"/> Ahorros energ.final %	<input type="radio"/> Ahorros energ.prim.No renov %	<input type="radio"/> Ahorros emisiones CO2 %	<input type="radio"/> Calif.Energ.prim.No renov			
Aislamiento (λ = 0,04W/m2K)							
	+10mm aislamiento	+20mm aislamiento	+30mm aislamiento	+40mm aislamiento	+60mm aislamiento	+80mm aislamiento	
Cubiertas	<input type="checkbox"/> E 49,3	<input type="checkbox"/> E 45,7	<input type="checkbox"/> E 43,7	<input type="checkbox"/> E 42,4	<input type="checkbox"/> E 40,8	<input type="checkbox"/> E 39,9	
Muros	<input type="checkbox"/> E 50,0	<input type="checkbox"/> E 45,7	<input type="checkbox"/> E 43,0	<input type="checkbox"/> E 41,1	<input type="checkbox"/> D 38,6	<input type="checkbox"/> D 37,1	
Suelos	<input type="checkbox"/> E 57,2	<input type="checkbox"/> E 56,9	<input type="checkbox"/> E 56,8	<input type="checkbox"/> E 56,6	<input type="checkbox"/> E 56,4	<input type="checkbox"/> E 56,3	
Cubiertas+Muros+Suelos	<input type="checkbox"/> E 41,3	<input type="checkbox"/> D 33,2	<input type="checkbox"/> D 28,1	<input type="checkbox"/> C 24,7	<input type="checkbox"/> C 20,4	<input type="checkbox"/> C 17,8	
Puentes térmicos	Aislamiento continuo		Pilares aislados		Aisl. hasta el marco		Pilares aisl+aisl hasta el marco
	<input type="checkbox"/> E 55,1		<input type="checkbox"/> E 56,1		<input type="checkbox"/> E 57,8		<input type="checkbox"/> E 56,4
Huecos							
	Vidrio Marco	3,3 W/m2K (doble) 4,0 W/m2K (metálico c.r.)	2,5 W/m2K (doble b.emisivo) 2,2 W/m2K (Madera)	1,8 W/m2K (d.bajo emisivo <0,03) 1,8 W/m2K (PVC 3 cámaras)			
U Vidrio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> E 56,1	<input type="checkbox"/> E 55,4	<input type="checkbox"/> E 54,8			
U Marco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> E 57,7	<input type="checkbox"/> E 57,5	<input type="checkbox"/> E 57,5			
U Vidrio + U Marco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> E 56,3	<input type="checkbox"/> E 55,4	<input type="checkbox"/> E 54,8			
FS Vidrio	<input type="checkbox"/>	0,75 <input type="checkbox"/> E 58,2	0,5 <input type="checkbox"/> E 59,8	0,25 <input type="checkbox"/> E 61,5			
FS Modificado Verano	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> E 57,9	<input type="checkbox"/> E 57,5	<input type="checkbox"/> E 57,1			
Permeabilidad	<input type="checkbox"/>	27 (m3/hm2 100Pa) <input type="checkbox"/> E 57,4	9 (m3/hm2 100Pa) <input type="checkbox"/> E 57,2	3 (m3/hm2 100Pa) <input type="checkbox"/> E 57,2			
Reducción superficie							
	- 5%	- 10%	- 15%	- 20%			
Huecos	<input type="checkbox"/> E 57,6	<input type="checkbox"/> E 57,6	<input type="checkbox"/> E 57,6	<input type="checkbox"/> E 57,6			
Muros	<input type="checkbox"/> E 56,2	<input type="checkbox"/> E 54,8	<input type="checkbox"/> E 53,4	<input type="checkbox"/> E 52,0			
Reducción renovacion aire							
nr	- 5%	- 10%	- 15%	- 20%			
	<input type="checkbox"/> E 57,3	<input type="checkbox"/> E 57,1	<input type="checkbox"/> E 56,9	<input type="checkbox"/> E 56,7			

Figura C.11. Emisiones de CO2 tras implantar mejoras

Tipo de datos:							
<input type="radio"/> Demanda (kWh/m2 año)	<input type="radio"/> Energ.final (kWh/m2 año)	<input type="radio"/> Energ.prim.No renov (kWh/m2 año)	<input type="radio"/> Emisiones (kgCO2/m2 año)	<input checked="" type="radio"/> Calificación CO2			
<input type="radio"/> Ahorros demanda %	<input type="radio"/> Ahorros energ.final %	<input type="radio"/> Ahorros energ.prim.No renov %	<input type="radio"/> Ahorros emisiones CO2 %	<input type="radio"/> Calif.Energ.prim.No renov			
Aislamiento ($\lambda = 0,04\text{W/m}^2\text{K}$)							
	+10mm aislamiento	+20mm aislamiento	+30mm aislamiento	+40mm aislamiento	+60mm aislamiento	+80mm aislamiento	
Cubiertas	<input type="checkbox"/> E 235,7	<input type="checkbox"/> E 218,1	<input type="checkbox"/> E 208,3	<input type="checkbox"/> E 201,9	<input type="checkbox"/> E 194,3	<input type="checkbox"/> E 189,9	
Muros	<input type="checkbox"/> E 240,5	<input type="checkbox"/> E 220,6	<input type="checkbox"/> E 207,9	<input type="checkbox"/> E 199,0	<input type="checkbox"/> E 187,6	<input type="checkbox"/> E 180,5	
Suelos	<input type="checkbox"/> E 274,1	<input type="checkbox"/> E 273,0	<input type="checkbox"/> E 272,2	<input type="checkbox"/> E 271,6	<input type="checkbox"/> E 270,7	<input type="checkbox"/> E 270,1	
Cubiertas+Muros+Suelos	<input type="checkbox"/> E 198,4	<input type="checkbox"/> D 159,5	<input type="checkbox"/> D 135,7	<input type="checkbox"/> D 119,6	<input type="checkbox"/> C 99,2	<input type="checkbox"/> C 86,8	
Puentes térmicos	Aislamiento continuo		Pilares aislados		Aisl. hasta el marco		Pilares aisl+aisl hasta el marco
	<input type="checkbox"/> E 264,2		<input type="checkbox"/> E 268,9		<input type="checkbox"/> E 277,1		<input type="checkbox"/> E 270,3
Huecos							
	Vidrio Marco	3,3 W/m2K (doble) 4,0 W/m2K (metálico c.r.)	2,5 W/m2K (doble b.emisivo) 2,2 W/m2K (Madera)	1,8 W/m2K (d.bajo emisivo <0,03) 1,8 W/m2K (PVC 3 cámaras)			
U Vidrio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> E 269,0	<input type="checkbox"/> E 265,7	<input type="checkbox"/> E 262,8			
U Marco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> E 276,4	<input type="checkbox"/> E 275,7	<input type="checkbox"/> E 275,6			
U Vidrio + U Marco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> E 269,7	<input type="checkbox"/> E 265,7	<input type="checkbox"/> E 262,6			
FS Vidrio	<input type="checkbox"/>	0,75 <input type="checkbox"/> E 278,6	0,5 <input type="checkbox"/> E 285,9	0,25 <input type="checkbox"/> E 293,5			
FS Modificado Verano	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> E 277,7	<input type="checkbox"/> E 275,4	<input type="checkbox"/> E 273,3			
Permeabilidad	<input type="checkbox"/>	27 (m3/hm2 100Pa) <input type="checkbox"/> E 275,0	9 (m3/hm2 100Pa) <input type="checkbox"/> E 274,3	3 (m3/hm2 100Pa) <input type="checkbox"/> E 274,0			
Reducción superficie							
	- 5%	- 10%	- 15%	- 20%			
Huecos	<input type="checkbox"/> E 275,8	<input type="checkbox"/> E 275,8	<input type="checkbox"/> E 275,8	<input type="checkbox"/> E 275,8			
Muros	<input type="checkbox"/> E 269,0	<input type="checkbox"/> E 262,3	<input type="checkbox"/> E 255,7	<input type="checkbox"/> E 249,0			
Reducción renovacion aire							
nr	- 5%	- 10%	- 15%	- 20%			
	<input type="checkbox"/> E 274,7	<input type="checkbox"/> E 273,8	<input type="checkbox"/> E 272,8	<input type="checkbox"/> E 271,8			

Figura C.12. Energía primaria tras implantar mejoras